

JORGE ZBIGNIEW MAZUCHOWSKI

**INFLUÊNCIA DE NÍVEIS DE SOMBREAMENTO E
DE NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO DE MASSA FOLIAR
DA ERVA-MATE *Ilex paraguariensis* St. Hil.**

CURITIBA

2004

JORGE ZBIGNIEW MAZUCHOWSKI

**INFLUÊNCIA DE NÍVEIS DE SOMBREAMENTO E
DE NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO DE MASSA FOLIAR
DA ERVA-MATE *Ilex paraguariensis* St. Hil.**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos à obtenção do título de Mestre pelo Curso de Pós – Graduação do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador:

Prof. Dr. Eduardo Teixeira da Silva

Co-Orientador:

Prof. MSc. Agenor Maccari Junior

CURITIBA

2004

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos produtores rurais e industriais da erva-mate, responsáveis pela produção e promoção do salutar hábito de consumo desta planta, especialmente como bebida tônica e estimulante.

Dedico também aos pesquisadores e estudiosos responsáveis pelos avanços tecnológicos e incremento de usos alternativos da erva-mate, para o fortalecimento e ampliação do horizonte mercadológico.

AGRADECIMENTOS

- Ao meu orientador, Professor Dr. Eduardo Teixeira da Silva, pelas orientações inerentes ao curso, apoio e estímulo na condução dos trabalhos de laboratório e de campo.
- Ao meu co-orientador, Professor MSc e doutorando Agenor Maccari Junior, pelo incentivo e apoio irrestrito aos trabalhos de pesquisa, estímulo profissional, articulação operacional e de medidas para viabilização científica em laboratório e campo.
- À professora socióloga e economista Dra. Neusa Gomes de Almeida Rucker, pelas sugestões e complementação de idéias, apoio na revisão do texto e estímulo na realização do trabalho de pesquisa.
- Ao acadêmico de Engenharia Agrônoma da UFPR André Rosseto, pelo apoio na digitalização de resultados para processamento estatístico dos dados resultantes da pesquisa.
- Ao apoio material das empresas POLYSACK Indústrias Ltda., Indústria Ervateira BITUMURIM e da EMATER-Paraná, mediante repasse dos materiais para implementação do experimento, respectivamente mantas de sombreamento Polysombra Difusora, mudas de erva-mate, palanques de bracinga e solo-substrato.
- Aos acadêmicos estagiários do Laboratório de Tecnologia Agroindustrial e aos técnicos do Laboratório de Fitotecnia do Setor de Ciências Agrárias da UFPR, pelo apoio na instalação do experimento e execução de atividades especiais do projeto de pesquisa.
- À esposa e companheira Aude e aos filhos George Ricardo e Rodrigo, pela energia irradiada e estímulo para a realização do Curso e do trabalho de pesquisa.

BIOGRAFIA DO AUTOR

JORGE ZBIGNIEW MAZUCHOWSKI, filho de Boleslau Estanislau Mazuchowski e Bogdana Josepha Wagner Mazuchowski, é nascido em Araucária, Estado do Paraná, em 4 de dezembro de 1946, sendo casado com Audenir Maria Amorin Mazuchowski, tendo dois filhos, George Ricardo e Rodrigo.

Em 1966, prestou vestibular na Universidade Federal do Paraná e concluiu o curso de graduação em Engenharia Agrônômica em 1969.

Efetou diversos cursos de especialização, voltados a necessidades profissionais e demandas do trabalho realizado, destacando-se:

- Administração em Marketing, curso de pós-graduação da Fundação de Estudos Sociais do Paraná – FESP-PR, em 1998, em Curitiba.
- Aperfeiçoamento sobre Alternativas de Energia para a Agricultura, curso de pós-graduação pela ABEAS, em 1985.
- Extensão Rural, curso de especialização desenvolvido pela ACARPA e ABCAR em 1970, em Curitiba.

Adicionalmente, dentre os cursos de aperfeiçoamento realizados, identificam-se:

- Viagem de Estudos sobre Agrossilvicultura, Planejamento e Manejo de Bacias Hidrográficas, Controle da Erosão e Manejo dos Recursos da Terra, executados na Austrália e na Nova Zelândia, em 1986, sob patrocínio da FAO.
- Curso de Planificación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, em Mérida na Venezuela, em 1984, patrocinado pela FAOI e CIDIAT.
- Curso Intensivo em Investigación para la Producción de Arroz de Riego, em Cali na Colômbia, em 1979, patrocinado pela FAO e CIAT.
- Curso Intensivo de Conservación de Suelos, em Curitiba no Brasil, em 1973, patrocinado pela OEA e CIDIAT.

Como funcionário de carreira da EMATER-Paraná desde 1970, acumula experiências técnico-científicas, administrativas, logísticas, e estratégicas a nível municipal, regional e de Estado, tendo como funções exercidas mais relevantes:

- Desde 1999, em 3 mandatos eletivos consecutivos, é Presidente da CONAMATE – Comissão Nacional da Erva-Mate, entidade integrada por representantes setoriais da cadeia produtiva da erva-mate dos Estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul.
- Desde 1997, Coordenador da Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva-Mate do Paraná, junto à Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento.
- De 1989 a 1995, desenvolveu a coordenação executiva do Projeto Alternativas Agroflorestais do Programa PARANÁ RURAL, junto à Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento e da EMATER-Paraná.
- De 1989 a 1991, foi Diretor Nacional do Projeto Bracatinga na Região Metropolitana de Curitiba, desenvolvido pela FAO e Governo do Estado do Paraná, tendo base física em Bocaiúva do Sul.
- De 1983 a 1986, foi Presidente da Comissão Estadual de Conservação de Solos – CESSOLO Paraná junto a Delegacia Federal do Ministério da Agricultura no Paraná, sendo eleito para dois mandatos consecutivos.
- De 1981 a 1984, exerceu a Gerência Técnica do Programa PROVARZEAS Nacional no Paraná, junto à Secretaria de Estado da Agricultura e à ACARPA.
- De 1979 a 1987, foi Diretor Estadual da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem – ABID Paraná, eleito para 4 gestões consecutivas.
- De 1976 a 1982, coordenou o PROICS – Programa Integrado de Conservação de Solos, junto à Secretaria de Estado da Agricultura e à ACARPA.

Dentre as publicações científicas, técnicas e de difusão tecnológica, citam-se:

- Guia para Pesquisa de Mercado de Produtos Florestais, em 2001, publicado pela Câmara Setorial da Erva-Mate do Paraná e EMATER-Paraná.
- Produtos Alternativos e Desenvolvimento de Tecnologia Industrial na Cadeia Produtiva da Erva-Mate, em parceria com equipe do Projeto PADCT da Erva-Mate, em 2000, publicado pela Câmara Setorial da Erva-Mate do Paraná e EMATER-Paraná.
- Normativos Legais e as Prioridades para Pesquisas Tecnológicas na Cadeia

Produtiva da Erva-Mate, em parceria com a equipe do Projeto PADCT da Erva-Mate, em 2000, publicado pela Câmara Setorial da Erva-Mate do Paraná e EMATER-Paraná.

- Patentes Industriais e as Prioridades para os Investimentos Tecnológicos na Cadeia Produtiva da Erva-Mate, em parceria com equipe do Projeto PADCT da Erva-Mate, em 2000, publicado pela Câmara Setorial da Erva-Mate do Paraná e EMATER-Paraná.
- Sistemas Silvipastoris – Paradigmas dos Pecuáristas para Agregação de Renda e Qualidade, em parceria com Vanderley Porfírio da Silva, em 1999, publicado pela EMATER-Paraná.
- Prospecção Tecnológica da Cadeia Produtiva da Erva-Mate, em parceria com Neusa Gomes de Almeida Rucker, em 1996, publicado pela Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento.
- Extensão Rural Aplicada à Área Florestal, em 1991, em apoio à disciplina curricular, publicado pela Agência Alemã de Cooperação Técnica – GTZ, Secretaria de Estado da Educação e Colégio Florestal de Irati.
- Princípios Metodológicos para Difusão de Tecnologia Florestal, em 1990, publicado pela FAO e EMATER-Paraná.
- Manual da Erva-Mate, com edições em 1988 e 1990, publicado pela EMATER-Paraná.
- Guia do Preparo do Solo para Culturas Anuais Mecanizadas, em parceria com Rolf Derpsch, em 1989, publicado pela Agência Alemã de Cooperação Técnica – GTZ, ACARPA e IAPAR.
- Visão Integrada da Erosão, livro em parceria com Professor João José Bigarella, em 1986, publicado pela ABGE.
- Manual de Operações do PROVARZEAS Nacional, com edições em 1981 e 1982, publicado pela ACARPA e EMATER-Paraná.
- Planejamento Conservacionista, em 1981, publicado pela ACARPA e Delegacia Federal do Ministério da Agricultura no Paraná.
- Diagnóstico de Várzeas do Estado do Paraná, em 1981, publicado pela ACARPA.
- Material Topográfico–Manejo e Manutenção, em 1980, publicado pela ACARPA
- Manual de Conservação de Solos, em 1977, publicado pela ACARPA e pelo Banco Bamerindus do Brasil.

SUMÁRIO

TERMO DE APROVAÇÃO	II
DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	IV
BIOGRAFIA DO AUTOR	V
SUMÁRIO	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XII
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Caracterização da Espécie	4
2.2. Representatividade Social e Econômica do Setor Ervateiro	6
2.3. Importância Comercial do Sombreamento das Erveiras	7
2.4. Consumo de Erva-Mate	10
2.5. Componentes Químicos na Folha de Erva-Mate	10
2.6. Avaliação Nutricional das Erveiras	12
2.7. Aspectos Microclimáticos	15
2.8. Sistemas Agroflorestais com Erva-Mate	20
2.9. Determinantes de Sombreamento em Erva-Mate	22
2.10. Características do Polysombra Difusora	24
3. METODOLOGIA	26
3.1. Área Experimental	26
3.1.1. Localização Geográfica	26
3.1.2. Área Experimental	26
3.2. Condução do Trabalho Experimental	28
3.2.1. Critério de Condução dos Tratamentos	28
3.2.2. Procedimentos Metodológicos	29
3.2.3. Sementes de Erva-Mate	29
3.2.4. Solo-Substrato das Embalagens	30
3.2.5. Mudas de Erva-Mate	31
3.2.6. Dosagem e Aplicação de Nitrogênio	31
3.2.7. Irrigação	32
3.3. Equipamentos e Instrumentos do Experimento	33
3.3.1. Material de Sombreamento	33
3.3.2. Equipamentos de Medição das Condições Ambientais	33

3.4. Sistema Metodológico de Aferição dos Tratamentos	37
3.4.1. Crescimento Vegetativo das Plantas	37
3.4.2. Determinação da Fitomassa por Planta	38
3.5. Análise Estatística dos Dados	42
3.5.1. Desenvolvimento Vegetativo	42
3.5.2. Métodos Estatísticos Utilizados	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. Aspectos Climáticos Médios do Ambiente	44
4.1.1. Umidade Relativa do Ar	44
4.1.2. Temperatura do Solo	46
4.1.3. Temperatura Máxima do Ar	47
4.1.4. Intensidade Luminosa	48
4.2. Efeito das Dosagens de Nitrogênio Aplicadas	48
4.2.1. Mortalidade de Plantas	48
4.2.2. Altura das Plantas	53
4.2.3. Biomassa das Plantas	55
4.2.3.1. Peso da Biomassa Foliar	56
4.2.3.2. Peso da Biomassa Radicular	58
4.2.4. Incidência de Pragas e Doenças	60
4.3. Efeito da Variação de Luminosidade	61
4.3.1. Altura das Plantas de Erva-Mate	61
4.3.2. Peso da Biomassa Total das Plantas	62
4.3.3. Desenvolvimento da Parte Aérea	63
4.3.3.1. Diâmetro Basal do Caule da Erva-Mate	63
4.3.3.2. Ramificação da Planta	65
4.3.3.3. Área Total da Superfície Foliar	66
4.3.3.4. Espessura das Folhas	69
4.3.3.5. Número de Folhas por Planta	70
4.3.3.6. Comprimento Total das Folhas	71
4.3.4. Desenvolvimento do Sistema Radicular	72
4.3.4.1. Comprimento Total das Raízes	73
4.3.4.2. Área Total da Superfície Radicular	73
4.3.4.3. Espessura Média das Raízes	74
5. CONCLUSÕES.....	75
6. RECOMENDAÇÕES	77
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
8. ANEXO – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS.....	87

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- Detalhe estrutural da malha de sombreamento Polysombra Difusora.....	25
FIGURA 2	- Dimensões e distribuição dos tratamentos com sombreamento nas parcelas dos 3 blocos do experimento com erva-mate, no Campus I da UFPR	27
FIGURA 3	- Disposição inicial das plantas de erva-mate em cada parcela do experimento, no Campus I da UFPR	27
FIGURA 4	- Visão geral da área experimental com erva-mate, no Campus I da UFPR	28
FIGURA 5	- Vista geral do experimento com erva-mate, destacando as Malhas de Polysombra Difusora sobre as parcelas e blocos	33
FIGURA 6	- Termômetros de coluna de mercúrio para leitura das temperaturas a 5 e a 10 cm de profundidade, no substrato-solo das embalagens plásticas contendo plantas de erva-mate.....	34
FIGURA 7	- Emprego do Luxímetro digital na leitura dos índices de luminosidade ambiental nas parcelas de erva-mate	35
FIGURA 8	- Utilização de Termômetros de Máxima e Mínima para monitoramento da temperatura média do ar na área experimental de erva-mate, suspenso na barrica-suporte de outro experimento	36
FIGURA 9	- Uso de Psicrômetros para monitoramento da umidade relativa do ar na área experimental de erva-mate	37

FIGURA 10 - Scanner de mesa com software WinRhizo para leituras de parâmetros vegetativos – folhas e raízes de erva-mate	39
FIGURA 11 - Comparativo do crescimento entre o sistema radicular e parte aérea da planta de erva-mate, após a retirada do saquinho plástico, destacando a proporcionalidade do vegetal	41
FIGURA 12 - Aspecto da mortalidade das plantas de erva-mate em parcela após 45 dias de adição do nitrogênio (3N)	49
FIGURA 13 - Comparativo da variação de mortalidade nas plantas de erva-mate, submetidas a dosagens de adubação nitrogenada (0N, 1N, 2N, 3N), no verão após 45 dias, sob diferentes graus de luminosidade ambiental.....	52
FIGURA 14 - Comparativo da variação de alturas médias das plantas de erva-mate, submetidas a diferentes graus de luminosidade ambiental, sem e com adição de adubação nitrogenada (N e 1N)	55
FIGURA 15 - Comparativo da variação de peso médio das folhas de erva-mate, no verão e no inverno, como biomassa verde e biomassa seca	58
FIGURA 16 - Área foliar média por planta de erva-mate, submetidas a diferentes condições de luminosidade ambiental	68

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- Indicadores da atividade ervateira nas regiões administrativas do Estado do Paraná	8
TABELA 2	- Tratamentos e sub-tratamentos estabelecidos na área experimental com mudas de erva-mate, no Campus I da UFPR (2002)	29
TABELA 3	- Cronograma de irrigação das plantas de erva-mate no decorrer das estações climáticas, no Campus I da UFPR	32
TABELA 4	- Valores médios da umidade relativa do ar, temperatura do solo a 10 cm e 5 cm de profundidade, da temperatura máxima do ar da intensidade de luminosidade no ambiente parcelar da erva-mate verificados no verão e inverno	45
TABELA 5	- Evolução dos índices de mortalidade das plantas de erva-mate, decorrente da aplicação de adubo nitrogenado em diferentes graus de sombreamento, verificado nas condições climáticas de verão e de inverno.....	50
TABELA 6	- Média de mortalidade das plantas de erva-mate em função dos diferentes graus de luminosidade ambiental	52
TABELA 7	- Altura média por planta de erva-mate, com e sem adição de nitrogênio em quatro estações climáticas sob grau de sombreamento diferenciado	53
TABELA 8	- Alturas médias das plantas de erva-mate submetidas a diferentes graus de luminosidade ambiental, verificado no inverno	54
TABELA 9	- Peso médio da biomassa foliar por planta de erva-mate em função da aplicação de adubo nitrogenado e do grau de sombreamento, nas condições climáticas de verão e de inverno.....	56
TABELA 10	- Diferenças na média do peso úmido das folhas de erva-mate por planta para diferentes tratamentos de sombreamento	57

TABELA 11	- Peso médio da biomassa radicular por planta de erva-mate decorrente de adubo nitrogenado e grau de sombreamento, verificado nas condições climáticas de verão e de inverno	59
TABELA 12	- Diferenças na média do peso seco das raízes de erva-mate por planta para as diferentes estações climáticas	60
TABELA 13	- Desenvolvimento do diâmetro médio de caule por planta de erva-mate em quatro estações climáticas, com e sem adição de nitrogênio, submetidas a tratamentos de sombreamento	64
TABELA 14	- Média de ramos por planta e tipo de sombreamento das parcelas de erva-mate, em quatro estações climáticas, com e sem adição de nitrogênio	65
TABELA 15	- Parâmetros médios de desenvolvimento da parte aérea total em plantas de erva-mate verificados através do programa Winrhizo	67
TABELA 16	- Variação no incremento da média da área foliar total por planta de erva-mate nas diferentes estações climáticas	67
TABELA 17	- Variação da espessura média total das folhas por planta de erva-mate verificadas na média anual de estações climáticas	69
TABELA 18	- Quantificação da média de folhas por planta e tipo de sombreamento das parcelas de erva-mate, em 4 estações climáticas, com e sem adição de nitrogênio	70
TABELA 19	- Número médio total de folhas por planta de erva-mate e por tipo de sombreamento nas diferentes estações climáticas	71
TABELA 20	- Comprimento médio das folhas por planta de erva-mate, na forma de material úmido, nas diferentes estações climáticas	71
TABELA 21	- Parâmetros médios do sistema radicular da erva-mate, por tipo de sombreamento e estação climática, verificados através do programa WinRhizo	72
TABELA 22	- Média da área radicular por planta (material úmido) para as diferentes estações climáticas	73
TABELA 23	- Variação da espessura radicular média por planta de erva-mate (material úmido) no decorrer das diferentes estações climáticas.....	74

TABELA 24	- Análise de variância dos dados sobre mortalidade das plantas de erva-mate em função de diferentes condições de sombreamento e da adição de adubo nitrogenado, em duas estações climáticas	87
TABELA 25	- Análise de variância dos dados sobre altura média por planta de erva-mate em função das diferentes condições de sombreamento e estações climáticas, sem e com adição de adubação nitrogenada	87
TABELA 26	- Análise de variância dos dados sobre peso da biomassa foliar por planta de erva-mate em função das diferentes condições de sombreamento e adubação nitrogenada nas estações climáticas	88
TABELA 27	- Análise de variância dos dados sobre peso úmido das folhas por planta de erva-mate, em função da adubação nitrogenada e diferentes condições de sombreamento nas estações climáticas	88
TABELA 28	- Análise de variância dos dados sobre peso seco das folhas por planta de erva-mate, em função da adubação nitrogenada e diferentes condições de sombreamento nas estações climáticas	88
TABELA 29	- Análise de variância dos dados sobre peso úmido de massa radicular por planta de erva-mate, submetidas a adubação nitrogenada de verão, em função das estações climáticas e diferentes condições de sombreamento	89
TABELA 30	- Análise de variância dos dados sobre peso seco de massa radicular por planta de erva-mate, submetidas a adubação nitrogenada de verão, comparando estações climáticas e diferentes condições de sombreamento	89
TABELA 31	- Análise de variância dos dados sobre diâmetro médio dos caules por planta de erva-mate, em função da adubação nitrogenada e diferentes condições de sombreamento, comparando as estações climáticas de verão e inverno	90
TABELA 32	- Análise de variância dos dados sobre crescimento foliar por planta de erva-mate, em função da adubação nitrogenada e diferentes condições de sombreamento, comparando as estações climáticas de verão e inverno	90
TABELA 33	- Análise de variância dos dados sobre área foliar média por planta de erva-mate, em função das estações climáticas e diferentes condições de sombreamento.....	91

TABELA 34	- Análise de variância dos dados sobre crescimento foliar por planta de erva-mate, em função das estações climáticas e diferentes condições de sombreamento	91
TABELA 35	- Análise de variância dos dados sobre área foliar por planta de erva-mate, em função das estações climáticas e diferentes condições de sombreamento	91
TABELA 36	- Análise de variância dos dados sobre espessura média das folhas por planta de erva-mate, em função das estações climáticas e diferentes condições de sombreamento	92
TABELA 37	- Análise de variância dos dados sobre área total da superfície radicular por planta de erva-mate, em função das quatro estações climáticas e diferentes condições de sombreamento	92
TABELA 38	- Análise de variância dos dados sobre espessura média das raízes por planta de erva-mate, em função das quatro estações climáticas e de diferentes condições de sombreamento	93

RESUMO

Diferentes produtos são obtidos dos ramos e folhas da planta de erva-mate quando da elaboração da erva cancheada e de sub-produtos decorrentes do beneficiamento agroindustrial. A variação natural das condições ambientais e do manejo dos ervais determina a diferenciação da matéria-prima erva-mate.

No manejo de sistemas agroflorestais com erva-mate, os efeitos de luminosidade, umidade relativa do ar, temperatura do ar e do solo, sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas são relevantes, principalmente pela competição por luminosidade estabelecida nesse ambiente, visando a produtividade consequente.

Neste trabalho buscou-se identificar e avaliar o efeito de diferentes níveis de sombreamento sobre a planta de erva-mate, nos estágios iniciais do primeiro ano de crescimento, associado a adição de diferentes dosagens de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio. Além disso, desenvolveu-se estudos de parâmetros específicos para estabelecer o sistema de sombreamento mais adequado para a produção de biomassa foliar.

A implantação de condições ambientais similares à condição natural de campo, para repetição igualitária dos tratamentos, foi estabelecida mediante a construção de estrutura de madeira, sobre a qual foi colocado o material Polysombra Difusora, para manter sombreamento idêntico nas parcelas e padronização das condições experimentais.

O experimento foi instalado no Campus I da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, constituindo de área com 20 x 36 m, com 3 blocos compostos de 4 tratamentos e 4 sub-tratamentos, num total de 16 parcelas por bloco. O delineamento empregado foi o fatorial com arranjo de blocos ao acaso, tendo como variável constante a luminosidade em 4 diferentes intensidades (a pleno sol, 70%, 50% e 30%), enquanto a variável interveniente

sobre as parcelas foi a aplicação de nitrogênio sobre o substrato-solo, em 4 níveis de dosagens (0N, 1N, 2N e 3N).

O monitoramento das condições ambientais foi desenvolvido sistematicamente, com leituras de 3 dias consecutivos, a cada 45 dias, em 3 horários diários, verificando luminosidade ambiental, umidade relativa do ar, temperatura do ar e do solo. Paralelamente, a caracterização morfológica das plantas de erva-mate foi efetuada em 8 momentos distintos, com intervalos de 45 dias, para mensurações do crescimento vegetativo e do volume de fitomassa foliar e radicular por planta.

Na análise e interpretação dos resultados, verificou-se que a adição de nitrogênio em tratamentos a pleno sol, nas condições de solos com boa fertilidade, demonstra ser ineficiente além de causadora da mortalidade de plantas.

Os aspectos relevantes de condição ambiental mais adequada à erva-mate verificam-se nos sombreamentos a 50% e 70%. As maiores alturas de plantas foram verificadas nas condições crescentes de sombreamento, tendendo a redução pelo aumento da luminosidade ambiental. Por outro lado, ocorre uma tendência para aumento na produção de biomassa da parte aérea em detrimento do sistema radicular, à proporção que a luminosidade se torna menos disponível, tendo comportamento oposto quando ocorre o incremento da luminosidade ambiental.

Adicionalmente, observou-se que as condições de maior sombreamento favorecem o incremento do peso úmido e do peso seco da biomassa foliar, bem como, do sistema radicular, aspecto relevante para a atividade comercial e industrial.

ABSTRACT

Different products are gotten of the branches and leaves of the erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivation, in function of the elaboration of mate leaves dilacerated and decurrent by-products of his agroindustrial improvement. The variation of the ambient conditions and of the mate plantation handling determines the differentiation of the erva-mate raw materials.

In the agroforestry systems with erva-mate handling, luminosities effects, relative humidity of the air, temperature of the air and soil, on the growth and development of plants they are relevants, mainly for the competition for luminosity in this environment ally to the consequent productivity.

In this work one searched to identify and to evaluate the effect of different levels of the shading on the erva-mate plants, in the initial stages of the first year of growth, associated with the addition of different nitrogen proportions. Moreover, it was developed analysis of the identified parameters to establish the more system of adjusted shading for the production of foliar biomass.

The implantation of similar ambient conditions to the natural condition of field, for the equalitarian repetition of the treatments, was established by means of the construction of wooden structure, on which the Polyshading Diffuser material was placed, to keep identical shading in the parcels and standardization of the experimental conditions.

The experiment was developed at the Campus I of the Federal University of Paraná, in Curitiba, constituting of three blocks composites of four treatments and four sub-treatments, in a total of 16 parcels for block, in a area with 20 x 36 meters. The employed delineation was the factorial with arrangement of blocks to perhaps, having as changeable constant the luminosity in four different intensities (full sun, 70%, 50% and 30%) while

the intervening variable on the parcels was the nitrogen application on the substratum-soil, in 4 levels of dosages (0N, 1N, 2N and 3N).

The ambient conditions monitoring was developed methodically, with readings of 3 days consecutives, to each 45 days, in 3 daily schedules, verifying ambient luminosity, relative humidity of the air, temperature of the air and of the soil. Paralelly, the morphologic characterization of the erva-mate plants was effected at 8 distinct moments, with intervals of 45 days, for mensurations of the vegetative growth and the volume of foliar mass and radicular mass for each plant.

In the analysis and interpretation of the results, it was verified that the nitrogen addition in treatments the full sun, in the ground conditions with good fertility, demonstrates to be inefficient beyond causer of the mortality of erva-mate plants.

The relevant aspects of ambient condition more adjusted to erva-mate cultivation has been verify in the shadings to 50% and 70%. The biggest heights of plants has been verified in the increasing conditions of shading, converging the reduction for the increase of the ambient luminosity. On the other hand, a trend for increase in the production of biomass of the aerial part in detriment of the radicular system occurs, to the ratio that the luminosity if becomes less available, having opposing behavior when the increment of the ambient luminosity occurs.

Additionally, as relevant aspects for the commercial and industrial activities, it was observed that the conditions of bigger shading promoting the increment of the humid weight and the dry weight of the foliar biomass, as well as, of the radicular system of erva-mate plant.

1. INTRODUÇÃO

A espécie florestal erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é componente de um dos sistemas agroflorestais tradicionais mais antigos da região sul do Brasil. Cresce espontaneamente em matas de pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*) e matas subtropicais existentes na região. Caracteriza-se pela oferta diversificada de produtos e serviços agrícolas que aportam na estabilidade econômica e social do produtor rural (MAZUCHOWSKI, 1991).

Diferentes produtos são obtidos dos ramos e folhas da planta de erva-mate, quando da elaboração da erva cancheada e sub-produtos decorrentes do beneficiamento agroindustrial. Destaca-se chimarrão, tereré, chá mate queimado e chá mate verde, mate solúvel e chá (bebida) pronto para consumo (MAZUCHOWSKI e RUCKER, 1993). Além disso, independente da quantidade de erva-mate e da forma de consumo atual, volumes adicionais poderiam ser empregados na comercialização, competindo com o café, sucos naturais e refrigerantes, tendo em conta a parcela muito pequena do mercado que é absorvida pelo produto erva-mate (MACCARI e MAZUCHOWSKI, 2000).

O desenvolvimento de novos produtos da erva-mate visa a valorização dessa cultura, ampliando o seu mercado e diversificando os produtos oferecidos, por meio da busca de alternativas de utilização (BUGARDT, 2000). A variação natural das condições ambientais e do manejo dos ervaís determina a diferenciação da matéria-prima erva-mate. É comum que sub-produtos de erva-mate, de uma mesma marca comercial, apresentem grande variação entre lotes comerciais no decorrer do ano, constituindo num fator gerador da diminuição do mercado consumidor, do seu tempo de permanência na prateleira e da dificuldade em ocupar novos nichos de mercado (MERCOMATE, 1993).

A Câmara Setorial da Erva-Mate do Paraná, apoiada por recursos oriundos do Ministério da Ciência e Tecnologia e das Indústrias de Erva-Mate do Paraná, desenvolveu o Projeto Plataforma Tecnológica da Erva-Mate (PADCT da Erva-Mate) no ano de 2000, identificando os aspectos fundamentais para o desenvolvimento tecnológico do setor

ervateiro, com descrição dos temas prioritários para a pesquisa e investimento setorial. Para tanto, como resultante do esforço integrado dos membros nas diversas atividades desenvolvidas, foram publicados os documentos abaixo relacionados, os quais dão direcionamento às demandas do setor ervateiro:

- Produtos Alternativos e Desenvolvimento de Tecnologia Industrial.
- Patentes Industriais e as Prioridades para Investimentos Industriais.
- Normativos Legais e as Prioridades para Pesquisas Tecnológicas.

As tecnologias identificadas no estudo da cadeia produtiva da erva-mate, referentes às alternativas do segmento industrial, induziram os membros integrantes da Câmara Setorial da Erva-Mate do Paraná a priorizar as informações relativas à obtenção de bebidas com padrão sensorial de erval sombreado, com vistas a atender ao mercado consumidor brasileiro e de terceiros países.

O presente documento “Influência de Níveis de Sombreamento e de Nitrogênio na Produção de Massa Foliar da Erva-Mate *Ilex paraguariensis* St. Hil.” apresenta a metodologia experimental empregada para identificar o efeito da incidência de diferentes níveis de sombreamento sobre a planta de erva-mate, nos estágios iniciais do primeiro ano de plantio, com diferentes concentrações de nitrogênio. Além disso, são analisados os parâmetros identificados na determinação do sistema de sombreamento apropriado à planta de erva-mate para a produção de biomassa foliar, bem como, as alterações morfo-anatômicas decorrentes das diferentes intensidades luminosas.

Em decorrência, a metodologia estabelecida utilizou material e método para reproduzir as condições ambientais de um erval a campo, numa condição controlada para caracterizar aos parâmetros demandados pelo experimento (MAZUCHOWSKI, 1989).

1.1. OBJETIVOS

A pesquisa desenvolvida na UFPR objetivou estabelecer o efeito da incidência de diferentes intensidades luminosas sobre a planta de erva-mate, nos estágios iniciais do primeiro ano, combinada com diferentes concentrações de nitrogênio, buscando:

- * Definir o grau de sombreamento mais apropriado para a produção de biomassa

foliar de erva-mate.

- * Identificar alterações morfológicas nas plantas de erva-mate em relação a graus diferentes de sombreamento ambiental.

Como objetivos específicos buscou-se:

- * Avaliar a relação entre (1) crescimento das plantas e peso da biomassa das plantas de erva-mate com (2) alterações das plantas de erva-mate associadas ao grau de sombreamento ambiental.
- * Identificar indicadores para estabelecer padrões de sombreamento ambiental a serem aplicados nos plantios de erva-mate, seja para o incremento da produtividade foliar do erval, seja para a obtenção de matéria-prima com características químicas relevantes para a indústria.
- * Verificar os efeitos da aplicação de diferentes dosagens de nitrogênio sobre o crescimento da planta de erva-mate, nos seus diferentes estágios, associado às diferentes condições de sombreamento ambiental.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

A erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil. é uma espécie florestal umbrófila e seletiva higrófila, da família *Aquifoliaceae* crescendo preferentemente em associações mais evoluídas dos pinheirais de *Araucaria angustifolia*, acompanhada de outras espécies como imbuia *Ocotea porosa*, pau-marfim *Cedrela fissilis*, pinho bravo *Podocarpus sp.*, canjarana *Cabralea canjerana*, além de Mirtáceas, Leguminosas diversas e Lauráceas (REITZ & EDWIN, 1967; OLIVEIRA & ROTTA, 1985).

Caracterizada por constituir-se de arvoreta a árvore perenifólia, com altura variável de 3 a 15 metros, podendo atingir até 25 metros de altura e diâmetro de 70 centímetros em condições de ambiente florestal. O tronco é cilíndrico, reto ou pouco tortuoso. É racemosa, quase horizontal; possui copa baixa, densifoliada, com folhagem verde-escura muito característica. As folhas são simples, alternas, geralmente estipuladas, subcoriáceas até coriáceas. As flores são brancas, pequenas, formando inflorescências de pequenos fascículos com até 5 flores, sobre ramos velhos na axila foliar. O fruto é uma drupa globosa de 4 a 6 milímetros de diâmetro, tetralocular, de superfície lisa, de cor violácea a quase preta quando madura, contendo 4 sementes com polpa mucilaginosa (REITZ & EDWIN, 1967; GIBERTI, 1995).

Como principal região de distribuição natural da erva-mate, ARANDA (1986) mapeou aquela situada entre os paralelos 18º e 26º de latitude sul, tendo como área de difusão natural da erva-mate, entre os paralelos 12º e 32º de latitude sul. A área de dispersão natural da erva-mate abrange aproximadamente 540.000 km², compreendendo territórios do Brasil, Argentina e Paraguai, situados entre as latitudes de 21º e 30º sul e as

longitudes de 48°30' e 56°10' oeste, com altitudes variáveis entre 500 e 1.500 metros

(OLIVEIRA & ROTTA, 1985).

Contudo, a espécie pode ocorrer em pontos isolados, fora desses limites, bem como, em regiões subtropicais e temperadas da América do Sul. Sua área de dispersão no Brasil (cerca de 83% da área total da região ervateira), inclui a região centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul; ao Estado de Santa Catarina; as regiões centro-sul, sudoeste e oeste do Estado do Paraná; ao sul do Estado do Mato Grosso do Sul; além de áreas restritas nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (OLIVEIRA & ROTTA, 1985; SANTOS, 1985; MAZUCHOWSKI, 1991; FOSSATI, 1997).

A intensidade da ramificação de uma planta de erva-mate normalmente está associada a diversas causas potenciais – característica genética, sítio no qual encontra-se a planta, idade da planta, deficiência hídrica ou de fertilidade, condições climáticas adversas, ocorrência de pragas e/ou doenças, ações mecânicas diversas, resposta da planta ao corte /poda dos ramos da planta (MAZUCHOWSKI, 1991; DA CROCE & FLOSS, 1999).

A quantidade de ramos apresentada por uma planta de erva-mate representa um dos aspectos de maior interesse na área produtiva, face o potencial produtivo de cada planta. A tipificação dos ramos passa a constituir numa característica relevante, em particular no melhoramento da espécie – basais, intermediários, de ponta (DA CROCE e FLOSS, 1999).

Trabalhos desenvolvidos por BRAUN-BLANQUET (1979), sobre fitossociologia referente às bases das comunidades vegetais, serviram de ponto de partida para a análise dos sistemas fitossociológicos dos ervais brasileiros, como proposta de similaridade. Além disso, o autor identificou situações de insolação e luminosidade onde justifica a incidência de luz na seleção das espécies num mesmo nicho ecológico. Neste sentido pode-se afirmar que as espécies florestais Imbuia *Ocotea porosa* e Pinheiro do Paraná *Araucaria angustifolia*, como integrantes da composição florística natural e por serem árvores mais altas que a erva-mate, convivem em harmonia na mesma comunidade, não interferindo no

crescimento das erva-mates, pois permitem luminosidade suficiente para o desenvolvimento vegetativo e a conseqüente composição físico-química da espécie.

De acordo com OLIVEIRA & ROTTA (1985), a erva-mate é mais freqüente em solos com textura média, ou seja, teor variando entre 15 e 35% de argila, e solos de textura argilosa, ou seja, teor acima de 35%. Prefere solos medianamente profundos a profundos, não ocorrendo em solos rasos. Com relação à umidade do solo, a erva-mate vegeta preferencialmente em solos com umidade permeável, ou seja, é uma planta característica dos solos típicos de regiões com clima do tipo Cfb. Por outro lado, FERREIRA FILHO (1957), refere-se à presença de erva-mate de forma mais frequente em solos com baixo teor de nutrientes trocáveis e alumínio, sendo por isso considerada como uma planta tolerante a solos de baixa fertilidade natural.

Os estudos desenvolvidos por REISSMANN *et al.* (1997) sobre a variação estacional dos micronutrientes e de alumínio nas folhas de erva-mate, aliado à análise da distribuição regional dos erva-mates em solos ácidos, indicam que a espécie está integrada ao grupo de plantas calcífugas.

2.2. REPRESENTATIVIDADE SOCIAL E ECONÔMICA DO SETOR ERVATEIRO

Muito tempo antes de ser conhecida a sua composição química, os indígenas sul-americanos já utilizavam a erva-mate como bebida, atraídos pelo paladar da mesma e, principalmente, por conhecerem suas virtudes, especialmente a propriedade de aumentar a resistência à fadiga e por mitigar a sede e a fome das pessoas (MAZUCHOWSKI, 1991; MAZUCHOWSKI *et al.*, 1996; MAZUCHOWSKI e RUCKER, 1996 e 1997).

Folhas de erva-mate encontradas em túmulos incas do Peru, comprovam o uso centenário desta planta, como bebida tônica e estimulante, referidos desde os primórdios das colonizações espanhola e portuguesa, antes da sua comercialização pelos jesuítas a partir de 1610. O enfoque comercial na Europa até 1775, foi direcionado para consumo como “chá dos jesuítas”. Documentos brasileiros de 1804, indicam a exportação oficial de erva-mate pelo Porto de Paranaguá, culminando em 1850, com recomendações para as plantações na região de Paranaguá. Por sua vez, os engenhos do mate absorviam todas as

atividades comerciais paranaenses, entre 1873 e 1890, monopolizando capital e trabalho, tornando-se no principal produto de exportação da Província do Estado. A influência sócio-econômica foi tão acentuada que o Paraná deve a sua emancipação política da 5ª Comarca de São Paulo, no ano de 1853, à prosperidade deste ciclo econômico (MAZUCHOWSKI, 1989 e 1991; MAZUCHOWSKI e RUCKER, 1993, 1996 e 1997).

De acordo com dados da Comissão Nacional da Cadeia Produtiva da Erva-Mate (CONAMATE, 1997), o setor ervateiro brasileiro é representado por 180.000 propriedades rurais, aliado a manutenção de 710.000 empregos diretos e indiretos.

Por sua vez, embasado em dados da Câmara Setorial da Erva-Mate do Paraná, observa-se que a área ocupada pelos ervais paranaenses abrange aproximadamente 283.000 hectares (representam cerca de 35% da área ocupada pelos ervais brasileiros), dos quais cerca de 60% são denominados ervais nativos ou ervais sombreados por outras espécies arbóreas. Além disso, cerca de 51 mil propriedades rurais atuam com erva-mate, ao nível de 176 municípios paranaenses (TABELA 1), onde as regiões administrativas de União da Vitória, Pato Branco, Guarapuava e Irati destacam-se como as maiores produtoras de erva-mate, concentrando em torno de 81% da produção (EMATER-Paraná, 2000).

O setor agro-industrial paranaense compreende 209 empresas, concentradas em 65 municípios, havendo acentuado predomínio das indústrias de pequeno porte, aproximadamente 83% do total. Gerador de cerca de 212.000 empregos, processa anualmente ao redor de 380.000.000 quilos de erva-mate verde. Diversas empresas mantêm atividades de forma sazonal e apenas 50% apresentam efetividade industrial no decorrer do ano fiscal (EMATER-Paraná, 2000).

2.3. IMPORTÂNCIA COMERCIAL DO SOMBREAMENTO DAS ERVEIRAS

Análises e estudos sobre o produto erva-mate têm revelado uma composição química que identifica propriedades nutritivas, fisiológicas e medicinais, o que lhe confere um grande potencial de aproveitamento, tanto para consumo “in natura” como para uso e aplicação industrial.

Alguns industriais brasileiros são categóricos nos negócios ervateiros, dando preferência e/ou exclusividade à erva-mate do tipo sombreada e/ou nativa, para formulação

do “blend” comercial. Esta opção é feita tomando como base o conceito que a erva obtida em ervais sombreados possui sabor superior ao produto oriundo de ervais produzidos a pleno sol, conferindo melhores atributos aos produtos comerciais (MAZUCHOWSKI, 1997).

Em decorrência, industriais de outros países sul-americanos e Estados brasileiros demandam a matéria-prima produzida na região centro-sul do Estado do Paraná, em especial, onde predominam ervais sombreados, apresentando os melhores preços para o produtor e a maior demanda mercadológica pelo sabor conferido à bebida (MAZUCHOWSKI & RUCKER, 1996).

TABELA 1 – Indicadores da atividade ervateira nas regiões administrativas do Estado do Paraná.

REGIÃO ADMINISTRATIVA	MUNICÍPIOS ERVATEIROS (n°)	ÁREA DE ERVAL (ha)		PRODUTORES DE ERVA (n°)	
		NATIVA	PLANTADA	NATIVA	PLANTADA
Curitiba	21	1.105	762	1.000	2.028
Lapa	8	1.799	211	2.485	106
Irati	8	40.876	1.972	5.805	1.206
União da Vitória	15	52.147	1.947	6.038	540
Guarapuava	12	125.200	3.790	7.750	3.068
Pato Branco	14	11.152	2.004	2.960	3.007
Francisco Beltrão	21	2.054	7.149	1.492	2.329
Cascavel	28	1.674	4.507	953	1.480
Toledo	12	26	262	35	674
Campo Mourão	11	146	759	146	3.265
Ivaiporã	11	5.020	281	2.640	132
Ponta Grossa	15	16.908	1.146	1.528	367
Paraná	176	258.107	24.790	32.832	18.202
		282.897		51.034	

FONTE: EMATER-Paraná (Realidade Ervateira do Paraná, 2000).

Para atendimento do aumento da demanda por erva-mate, face a degeneração dos ervais nativos, nos últimos anos ocorreu um crescimento das áreas com ervais a pleno sol, embora com produto de menor valor comercial. Atualmente, o setor ervateiro tem necessidade de conversão dos ervais de pleno sol para ervais sombreados, ou pelo menos estabelecer um grau de sombreamento das plantas de erva-mate pela redução do grau de luminosidade ambiental (MACCARI e MAZUCHOWSKI, 2000).

As mudanças na tecnologia de produção da erva-mate não se restringem ao plantio a pleno sol, compreendendo alterações no espaçamento, na adubação, no processamento do produto. Estas mudanças na atividade ervateira são consideradas como uma mudança de paradigma, fazendo com que a erva-mate deixe de ser vista como uma cultura florestal e passe a ser tratada como cultura agrícola, uma “planta de lavoura” (MAZUCHOWSKI, 2001).

A estrutura da planta responde diretamente às condições ambientais tais como intensidade luminosa e teores de nutrientes, podendo em resposta alterar sua morfologia e, conseqüentemente, seus processos fisiológicos (FOSSATI, 1997). Assim, tratando-se de planta cuja parte explorada comercialmente é justamente sua massa foliar, controlar os fatores ambientais significa controlar a produção da planta. Os efeitos da intensidade luminosa e sombreamento sobre parâmetros relativos a crescimento e desenvolvimento das plantas já foram estudados para diversas outras espécie, como para café (FAHL & CARELLI, 1994), seringueira (MATIELLO, ALMEIDA, FERREIRA, 1990) e pastagens (BAGGIO, 1992).

No caso da erva-mate, estudos com sombreamento são limitados em número e abrangência, tendo ainda como fator limitante a enorme diversidade ambiental nos ervais nativos. Experimentos a campo, em áreas de bosque, dificultam a repetição dos tratamentos pela impossibilidade de se obterem condições semelhantes para todas as parcelas. Em decorrência, para estudar o efeito do sombreamento ou da intensidade de radiação solar, deve-se buscar padronizar tal variação, podendo ser usados materiais de cobertura artificial para simular condições naturais (MAZUCHOWSKI, 2001).

Apesar da ampla bibliografia sobre a exploração e comercialização da erva-mate, os conhecimentos referentes à sua ecofisiologia são escassos. Não são encontrados indicadores dos efeitos decorrentes de diferentes intensidades luminosas sobre a fase juvenil das plantas de erva-mate, mediante sombreamento natural ou artificial, e tampouco estão disponíveis informações sobre os riscos associados ao excesso de nitrogênio na adubação da cultura (DA CROCE, 2000).

Ao avaliar o efeito interativo do sombreamento e da disponibilidade hídrica, FERREIRA *et al.* (1994) observaram um maior crescimento em mudas de erva-mate, evidenciado pela determinação do peso de massa seca, altura, área foliar e vigor das

plantas, para parcelas com 60% a 80% de sombreamento em relação aos demais tratamentos. Também foi inferido pelos autores que teores de umidade do solo em torno de 60% podem ser limitantes ao crescimento das plantas, principalmente àquelas expostas a pleno sol, em épocas de temperaturas mais elevadas. Este resultado sugere que a cultura não necessita de reposição integral de água para melhorar o seu desempenho produtivo, principalmente sob sombreamento (VIEIRA *et al.*, 1993).

2.4. CONSUMO DE ERVA-MATE

Os jesuítas foram os primeiros a orientar os índios sul-americanos a realizar plantios de erva-mate, sendo os precursores do cultivo sistemático, colheita de sementes, produção de mudas e condução das erveiras. Também foram os responsáveis pela expansão do consumo da bebida, melhorando seu preparo e difusão entre os países europeus (PAULA, 1992; VALDUGA, 1995; MAZUCHOWSKI *et al.*, 1996).

A localização da zona produtora possui certa similaridade nas tendências climáticas que interferem nos índices de produção e produtividade e no “blend” do produto comercial da erva-mate, de sabor mais ou menos amargo, principalmente em ervais cultivados a pleno sol. As melhores condições de desenvolvimento vegetativo, longevidade das plantas e produtividade foliar da erva-mate estão intimamente ligadas ao grau de fertilidade do solo e à exploração racional das erveiras (MAZUCHOWSKI, 1997).

O “blend” dos diversos tipos de bebidas da erva-mate é efetuado de acordo com os padrões aceitos pelos consumidores, aliado a exigências cada vez maiores em relação a composição química dos diferentes produtos comerciais, para uniformidade e para riqueza específica do conteúdo. Esse fato tem levado as indústrias beneficiadoras de erva-mate a definir padrões de identidade para origem e tipo de matéria-prima obtida junto aos produtores rurais, priorizando o produto in natura (erva verde) que atenda às especificações de cada mercado, tanto interno como externo (MAZUCHOWSKI, 1997).

2.5. COMPONENTES QUÍMICOS NA FOLHA DE ERVA-MATE

A quantidade de nutrientes existentes nas folhas de erva-mate pode representar mais do que 30% do total existente em toda a árvore. Por sua vez, a idade das folhas afeta a distribuição de nutrientes em função da redistribuição dos nutrientes móveis para

outros órgãos, como folhas novas, órgãos de reserva e regiões de crescimento, antes da abscisão ou eventual corte mecânico (VAN DEN DRIESSE, 1984).

As investigações químicas relativas à composição da erva-mate foram iniciadas por Trommsdorff, em 1836, quando constatou a presença de diversas substâncias resinosas, matéria corante e ácido tânico. Por sua vez, Stenhouse em 1843, descobriu a presença de cafeína como seu principal alcalóide, relatando teores de apenas 0,13%; porém, na continuidade das pesquisas, em 1854 fixou teores variando de 1,10% até 1,23% (VALDUGA, 1995).

Como constituintes da erva-mate, originalmente o pesquisador VERONESE (1944) identificou a existência dos compostos - água, celulose, gomas, dextrina, mucilagem, glicose, pentose, substâncias graxas, uma resina aromática (formada por uma mistura de oleína, palmitina, lauro-estearina e um óleo cujas características eram similares a cumarina), legumina, albumina, cafeína, teofilina, cafearina, cafamarina, ácido matetânico, ácido fólico, ácido cafêico, ácido virídico, clorofila, colesterolina e óleo essencial. Além disso, nas cinzas encontrou grande quantidade de potássio, lítio, ácidos fosfórico, sulfúrico, carbônico, clorídico e cítrico, além de magnésio, manganês, ferro, alumínio e traços de arsênico.

Estudos com os bioelementos existentes em folhas e hastes de erva-mate, revelam um bom suprimento de N, K, Ca, Mg, Fe, Cu e Zn, enriquecimento em Mn, Al, B e baixos teores de P. Adicionalmente, os altos valores observados na relação N/P indicaram provável deficiência oculta de P (REISSMANN et al., 1983).

Em outra pesquisa, REISSMANN e PREVEDELLO (1992) observaram correlações positivas entre o aumento da calagem e a concentração de K, Ca, Mg e Fe nos tecidos das folhas de erva-mate. Constataram também a ocorrência de baixos teores de P nas folhas de erva-mate, fato que parece ser característico da espécie. Chamaram a atenção ainda para os baixos níveis de Cu e os altos níveis de Zn que ultrapassaram a 100 ppm. Por outro lado, em outro estudo, o pesquisador argentino KRICUN (1983) comenta que o rendimento obtido pela planta de erva-mate é ligado mais à disponibilidade de nitrogênio do solo, do que a fósforo e potássio.

Segundo CAMPOS (1991), a determinação dos teores de nutrientes existentes na biomassa da safrinha de erva-mate (colheita de verão) são menores do que os obtidos na

safras tradicionais de inverno. Essa observação foi verificada para a maioria dos nutrientes, em povoamentos de 9 e 12 anos de idade, no tocante à biomassa e à distribuição de nutrientes produzida nas duas safras. Em outras palavras, a porção comercializável (folhas e talos) corresponde de 30 a 35% da biomassa total existente no erval de 9 anos de idade, enquanto no erval de 12 anos de idade corresponde a uma biomassa de 36 a 42%.

O nitrogênio é um nutriente que merece destaque pelo papel vital no crescimento da planta e pelos riscos associados à aplicação descontrolada. Sob deficiência severa de nitrogênio, a planta apresenta menor altura, as células assumem tamanho menor em seus tecidos e as paredes celulares tornam-se espessas, além do que são antecipados os processos produtivo e da senescência (LARCHER, 2000).

Após seis meses de instalação, em experimento submetido a quatro condições de radiação solar (0%, 30 %, 50% e 70% de sombreamento), com e sem adição de nitrogênio, BOEGER et al. (2003), analisaram folhas maduras de erva-mate nas variáveis - Clorofila a, b e total; espessura total do limbo e dos tecidos clorofilianos; peso de massa seca, área específica foliar e densidade estomática. Dentre os aspectos significativos, foram destacados a área foliar, 27% maior no tratamento com 70% de sombra em relação aos demais tratamentos; as folhas expostas à luminosidade solar (30% e 0% de sombreamento) apresentaram as maiores densidades estomáticas; as maiores concentrações de clorofila total ocorreram nos tratamentos com 30 e 70% de sombreamento. Foram observadas tendências ao incremento da espessura total das folhas e do parênquima paliádico diretamente proporcional ao gradiente de luz, com limite de até 30% de sombreamento, uma vez que a sol pleno ocorre uma redução dos mesmos. A área foliar, o peso seco foliar e a área específica foliar não apresentaram diferenças significativas quando foram submetidas às diferentes dosagens de nitrogênio, sob a mesma condição de luminosidade. Neste caso, apenas a área foliar e a concentração da clorofila a mostraram diferenças significativas entre os tratamentos com nitrogênio.

2.6. AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DAS ERVEIRAS

Conforme ALDRICH (1973), a análise foliar é indicada para diagnosticar ou para confirmar diagnose de sintomas visíveis, geralmente na identificação de distúrbios na planta, na localização de áreas de deficiências, para indicar a necessidade de adubação, na

detecção de interações ou antagonismos entre nutrientes e para auxiliar na compreensão do funcionamento das plantas.

A idade fisiológica de uma planta, ou de parte dela, é um dos fatores mais importantes na determinação do conteúdo de nutrientes minerais. Com a idade do vegetal ocorre o declínio do nível de muitos nutrientes minerais em sua composição. Esse declínio é causado principalmente pelo aumento relativo na proporção de material estrutural e compostos de armazenamento na matéria seca (MARSCHNER, 1986).

Para fins de análise do estado nutricional de essências florestais folhosas, MALAVOLTA et al. (1989) recomendam que sejam coletadas folhas recém-maduras de ramos primários, durante o verão e outono, mediante a realização de coleta preferencial em árvores dominantes ou co-dominantes.

Por outro lado, SOSA (1997) e MAZUCHOWSKI (2001) referem-se aos estágios de desenvolvimento vegetativo da erva-mate como aspecto a ser observado para estabelecer os níveis de nutrientes existentes, uma vez que tendem a ser mais estáveis no outono e inverno. Em decorrência, para realização de amostragem foliar, esse período é recomendado para as regiões com climas temperados e frios, ou simplesmente durante a estação do inverno.

Em termos de literatura especializada, os estudos agrônômicos que enfocam minerais e nutrientes das folhas da erva-mate, são muito escassos. Estudos desenvolvidos por REISSMANN et al. (1985), para avaliação da relação de macronutrientes da erva-mate e a época de colheita, permitiram formalizar a hipótese da relação consistente entre o crescimento e a composição de macronutrientes nas folhas.

Por sua vez, as deficiências minerais provocam alterações nos processos bioquímicos e fisiológicos das plantas, as quais levam frequentemente a alterações morfológicas ou sintomas visíveis (MALAVOLTA, 1980). A clorose é o sintoma mais comumente observado em vasta gama de deficiências, sendo provocada pela interferência com a síntese da clorofila e normalmente está associada com a falta de nitrogênio, embora possa ser causada por deficiências de ferro, manganês, magnésio, potássio e outros elementos (MALAVOLTA *et al.*, 1989).

Por outro lado, o excesso de minerais é raramente observado em condições normais de solos, sendo pouco usual a aplicação de doses elevadas de fertilizantes na cultura de erva-mate (KRICUN, 1983; LOURENÇO, 1997). O aumento da pressão osmótica da solução do solo reduz a absorção de água, elevando o déficit hídrico da folha e causando danos nos tecidos por dessecação, especialmente em dias com temperaturas e ventos elevados, acarretando incremento na transpiração e danos na planta (KRAMER & KOZLOWSKI, 1960). Dentre as consequências da existência do nutriente em excesso no solo, os autores destacam o prolongamento do período de crescimento das plantas sem dar condições de adaptação para as condições de inverno.

Dentre as principais preocupações na exploração dos ervais estão sua produtividade e sustentabilidade. Como as partes extraídas da erva são suas folhas e ramos finos, existe uma grande exportação de nutrientes do ecossistema sendo que o elemento exportado em maior quantidade é o nitrogênio (REISSMANN et al., 1985; WISNIEWSKI et al., 1996), podendo chegar, em termos equivalentes, a cerca de 500 quilos anuais de uréia por hectare (LOURENÇO, 1997).

Como época de aplicação de fertilizantes orgânicos na cultura da erva-mate, SOSA (1997) recomenda ao final de inverno (mês de agosto), enquanto para os fertilizantes químicos ao início da primavera (mês de setembro). A localização aconselhada é aquela que observa a distribuição do sistema radicular da planta, o nível de fertilidade natural e a capacidade de fixação no solo. O autor recomenda distribuir o fertilizante químico, em especial, ao redor da planta, formando uma faixa de aproximadamente 30 a 50 centímetros distante do caule da mesma.

A falta do elemento nitrogênio reduziu severamente o crescimento de mudas de erva-mate conduzidas em experimento mantido em solução nutritiva (ZAMPIER, 2001). Por outro lado, menores concentrações de nitrogênio foliar foram relacionadas com menores alturas das plantas e menor diâmetro de copa, além de menor produção de biomassa (FOSSATI, 1997; PINTRO et al., 1998).

Não é raro encontrar-se viveiros florestais nos quais se produzem mudas de erva-mate com desenvolvimento adequado, sem o uso de adubação mineral. Em decorrência, pesquisa da EMBRAPA Florestas analisou a composição de substratos específicos quanto aos tipos e proporções, procurando utilizar material orgânico como condicionador de solo.

Resultou que o esterco de gado bovino tem se destacado positivamente, enquanto que o esterco de aves (cama de frango) freqüentemente tem se revelado problemático, produzindo as maiores depressões no desenvolvimento das mudas (MEDRADO *et al.*, 2000).

Por outro lado, LOURENÇO *et al.* (1997) testando duas fontes de nitrogênio (uréia e sulfato de amônio), com diferentes doses e a aplicação de cobertura morta, durante quatro anos e meio, em três tipos de solo, verificaram resposta positiva à aplicação de nitrogênio somente em solo de textura média, sendo indiferente à fonte de N utilizada. Outrossim, concluíram ainda ser altamente recomendável o uso de cobertura morta nos plantios de erva-mate.

Em experimento desenvolvido na EMBRAPA Florestas, com plantas de erva-mate nutridas com sulfato de amônio, apresentaram incremento de cerca de 80% na fotossíntese líquida, em relação ao tratamento testemunha. Por sua vez, em plantas nutridas com uréia, esse incremento foi de apenas 20% em relação à testemunha, enquanto na fonte nítrica a taxa de fotossíntese líquida foi praticamente idêntica ao controle, demonstrando que a fonte amoniacal influenciou de forma significativa à taxa de fotossíntese líquida, apesar de não se diferenciar morfológicamente das plantas nutridas com as demais fontes de nitrogênio (GAIAD *et al.*, 2003).

A adubação em covas conta com ensaios desenvolvidos pela EPAGRI, em Chapecó – SC, cujos dados vem sendo monitorados há diversos anos. Bons plantios têm sido obtidos quando se utilizam 60 gramas por planta de adubo na fórmula NPK 10-20-10 e uma quantidade de aproximadamente um quilo de esterco orgânico (bovino, ovino ou suíno), bem misturado com o solo-substrato (MEDRADO *et al.*, 2000).

Caso a cova para plantio das mudas de erva-mate seja em terreno não preparado mecanicamente, recomenda-se aplicar para cada litro de terra uma mistura composta de 12,5 gramas de superfosfato simples, 0,5 grama de cloreto de potássio, 50 miligramas de bórax e 100 miligramas de sulfato de zinco. Em decorrência, numa cova padrão de plantio de erva-mate de 40 cm x 40 cm x 40 cm, equivalente a 64 litros de terra, serão utilizados 160 gramas de superfosfato simples, 30 gramas de cloreto de potássio, 3,2 gramas de bórax e 6,4 gramas de sulfato de zinco (MEDRADO *et al.*, 2000).

2.7. ASPECTOS MICROCLIMÁTICOS

Nas florestas primárias, uma grande variedade de micro-sítios propicia o desenvolvimento de espécies com diferentes requerimentos em relação ao ambiente. Fatores como luz, água, temperatura e condições edáficas são alguns dos elementos ambientais que influem no desenvolvimento da vegetação. O suprimento inadequado de um desses fatores pode reduzir o vigor da planta e limitar seu desenvolvimento. Desses fatores, a luz é vital para o crescimento das plantas, especialmente por influir na taxa de fotossíntese, entre outros processos (FERREIRA *et al.*, 1977). Por sua vez, a intensidade de luz afeta o crescimento vegetativo ao exercer efeitos diretos sobre a fotossíntese, abertura estomática e síntese de clorofila, segundo KOSLOWSKI *et al.*, 1991).

O microclima corresponde ao clima na escala e no nível das plantas analisadas (ACIESP, 1997). Quanto mais ampla a área foliar, menor será a energia radiante que chegará ao sub-bosque. Ao longo do perfil vertical, altera-se conseqüentemente a temperatura, a luminosidade e a umidade do ar (POGGIANI *et al.*, 1998).

No ambiente de uma floresta, em qualquer latitude, a radiação solar ocupa um papel relevante nos processos de fotossíntese, evapotranspiração, aquecimento do ar e da superfície. A interação existente entre a radiação solar e o sistema florestal reveste-se de grande importância para a compreensão dos processos de fisiologia vegetal, produtividade de biomassa e trocas em turbilhonamento de energia e massa entre a floresta e a atmosfera (OMETTO, 1981).

O estudo da interação da radiação solar com uma superfície vegetada, assim como em seu interior, ainda é campo de estudo relativamente novo e complexo. O entendimento dos fenômenos físicos e fisiológicos que ocorrem na área vegetada tem como ponto de partida a boa caracterização da cobertura vegetal, bem como, de sua estrutura e distribuição dos elementos vegetais, como galhos e folhas (MARQUES FILHO, 1997).

Os sistemas agroflorestais - SAFs são vistos por muitos como solução para os problemas ambientais (DANTAS, 1994). Adicionalmente, como um remédio rural, os SAFs imitam a natureza, exploram as relações ecológicas entre plantas, preservam a qualidade do solo através da ciclagem de nutrientes e adição de matéria orgânica, utilizam a radiação solar mais eficientemente do que as explorações solteiras e capturam os nutrientes e

umidade do solo de diferentes zonas da raiz, diminuindo a dependência de entradas externas de nutrientes, na forma de adubações (DA SILVA, 1998).

Partilhando dessa concepção, DA SILVA e MAZUCHOWSKI (1999) comentam que as principais interações dos SAFs com os recursos ambientais referem-se ao microclima (luz, umidade do ar, temperatura e vento) e ao solo (fertilidade e erosão). A presença de árvores altera o balanço de radiação e o comportamento de ventos na superfície da área (MONTEITH *et al.*, 1991; ONG *et al.*, 1991; BIRD *et al.*, 1992; GREGORY, 1995; BRENNER, 1996). O efeito combinado dessas mudanças atua sobre o balanço de energia disponível para o meio, influenciando no uso de água pelas plantas, na produção destas e, também, sobre o componente animal.

A sombra moderada é obtida por meio da quantidade adequada de copas de árvores, número que varia de acordo com o tipo de folhas em cada espécie florestal, devendo ser distribuídos regularmente por unidade de superfície. As árvores com copas mais frondosas e elevadas requerem espaçamentos maiores entre as mesmas comparativamente àquelas que são mais baixas e apresentam formato de copa pequena. Adicionalmente, devem apresentar troncos retilíneos e formato de copadas altas, sempre que possível (DA SILVA & MAZUCHOWSKI, 1999). No caso da erva-mate, deverão ser observados esses requisitos nas espécies florestais introduzidas no erval, visando estabelecer o sombreamento desejado para o erval (MAZUCHOWSKI, 2001).

Além de fator importante de produção e produtividade das plantas, a luz solar é essencial para a fotossíntese, cuja intensidade e duração devem ser suficientes (MATIELLO *et al.*, 1990; DA CROCE & FLOSS, 1999). Plantas de sub-bosque ou sombreadas alteram a espessura foliar quando colocadas a pleno sol, porque a água, o solo e a intensidade luminosa influenciam a estrutura foliar. A cutícula da folha de erva-mate tem morfologia específica, sendo que nas plantas de habitat mais úmido ou mais arejado tem estrias cuticulares menos desenvolvidas (BOEGER *et al.*, 2003; ESPINDOLA JUNIOR, 2004).

Segundo KRAMER & KOZLOWSKI (1980), a transpiração é benéfica porque esfria as folhas das plantas, além de prevenir o desenvolvimento da turgidez excessiva, causar o movimento da água até as folhas e aumentar a absorção e translocação de minerais. Por outro lado, PENMANN (1956) já confirmava que a manutenção do nível máximo de transpiração é uma condição necessária para atingir o máximo crescimento, enquanto

LAWLOR (1995) mostrou que o estresse hídrico das plantas reduz a taxa de assimilação de gás carbônico.

O gás carbônico é um elemento utilizado pela planta quando da realização do processo fotossintético, o qual em conjunto com a água produz matéria seca e libera oxigênio para a atmosfera. Conhecendo-se o fluxo do gás carbônico, torna-se possível estimar-se, ou até prever-se, o comportamento das plantas em relação à sua produção de matéria seca (OMETTO, 1981).

O aspecto sazonal da fotossíntese é muito mais importante nas árvores do que nas culturas agrícolas, devido ao fato de que a maioria das culturas agrícolas é de ciclo curto enquanto que as árvores devem conviver com as variações das condições ambientais experimentadas ao longo do ano (LARCHER, 2000).

No decorrer de um dia típico, é variável o fator limitante da intensidade da fotossíntese. Nesse sentido, durante o período matinal a fotossíntese está frequentemente correlacionada com a intensidade da luz, embora no período vespertino seja regulada pelo teor em água da folha, dado que este afeta a abertura de estômatos e a entrada do anidrido carbônico. De forma semelhante, durante a estação de crescimento pode dar-se a substituição de um fator regulador por outro (KRAMER & KOZLOWSKI, 1980).

A fotossíntese envolve processo químico complexo, sensível a muitas variáveis, diferentemente da transpiração que é mais simples, controlada principalmente por variáveis físicas ligadas à difusão dos gases (KLAR, 1984). Nota-se que o movimento dos estômatos é o principal mecanismo para o controle da transpiração e da fotossíntese.

Em um estudo micro-meteorológico efetuado em Manhattan, Kansas-EUA, HAM & KLUITENBERG (1993) registraram que a radiação solar na posição média, entre as linhas de plantio da espécie *Glycine max*, distanciadas de 1,5 metros, nos horários entre 11:00 e 14:00 horas, era superior à radiação solar medida em área aberta, sem influência do dossel de plantas. Tal fato foi atribuído ao aumento de radiação refletida no dossel. No entanto, o comportamento de interceptação de luz pelas copas das plantas é complexo e depende de um grande número de variáveis. Apesar dessa complexidade, muitos avanços tem sido feitos tratando-se de dossel homogêneo de uma só espécie, assumindo que a folhagem seja aleatoriamente distribuída.

No entanto, cultivos em linhas apresentam uma certa condição de desuniformidade do dossel. Onde o espaçamento entrelinhas é superior a $1/3$ da altura das plantas, registraram-se diferenças na interceptação de luz quando comparado com espaçamento onde o dossel é fechado. Os cultivos em linhas ao apresentarem variação nos graus de cobertura do terreno, dada pelo tipo de copas das plantas na linha e pela sua ausência na entre-linha, caracterizam uma heterogeneidade horizontal que em monoculturas (como no caso da soja) é maior no início e menor quando a cultura encontra-se em máximo desenvolvimento vegetativo. Assim, a heterogeneidade pode ser representada pela condição variante entre a mínima e a máxima cobertura das copas (GIJZEN & GOUDRIANN, 1989).

O estresse vegetal é o fator mais limitante para a produtividade das plantas. Quando aumenta a concentração do gás carbônico no ar, os estômatos das folhas começam a fechar-se para aumentar a resistência das folhas à transpiração. Durante a fotossíntese, ocorre uma concentração de gás carbônico maior fora de uma fina camada de ar que envolve as folhas (camada laminar); no interior dessa camada, a concentração vai diminuindo no sentido em que se aproxima dos estômatos da folha, por onde o gás carbônico entra. A espessura dessa camada limítrofe irá depender das características próprias da folha e, principalmente, da movimentação da massa de ar em torno das plantas (LARCHER, 1977).

Em condições de “dias com ar parado”, a camada laminar que envolve as folhas pode ter alguns milímetros de espessura. Quanto mais espessa for, maior resistência exercerá (resistência da camada laminar) para que ocorra difusão de gás carbônico na mistura entre a camada laminar e a massa de ar que a envolve, tendo maior concentração de gás carbônico. Assim, permanecendo uma situação de alta resistência da camada laminar e dada a utilização de gás carbônico na fotossíntese, ocorre deficiência no reabastecimento (OMETTO, 1981).

A camada laminar pode ser eliminada, em condições de ventos fortes, ao ponto de que também não existirá suprimento de gás carbônico para a planta. Caso essa condição de vento persistir, poderá paralisar o crescimento da planta. Por outro lado, pesquisas e resultados práticos sobre o efeito da redução dos ventos em cultivos agrícolas podem ser encontrados no mundo todo (OMETTO, 1981).

Para obter-se um suprimento adequado de gás carbônico para as plantas, é necessário que ocorram movimentações de ar, com velocidades alternadas, nem muito altas e nem muito baixas, de forma a promover a difusão da concentração de gás carbônico e a quebra dos gradientes térmicos existentes no microclima analisado (OMETTO, 1981).

As oscilações da temperatura ambiental afetam as taxas de fotossíntese e de desenvolvimento da área foliar, além da produção de matéria seca pelas plantas. As temperaturas mais elevadas exercem um efeito desfavorável sobre a fotossíntese. Como a transpiração possui a função de baixar a temperatura, pode-se dizer que a transpiração influencia a fotossíntese das plantas (KUDREV, 1994).

Na estação do inverno, o estrato arbóreo constitui uma barreira contra as perdas de radiação (geada branca) e os ventos gélidos e dessecantes (geada negra), ou seja, contribui para a conservação de calor do solo e do ar, ao proteger a área dos ventos que arrastariam a umidade do ar. Comparativamente, verifica-se a ocorrência de pastagens verdes sob as árvores durante a estação hiberna (DA SILVA, 1998).

A água flui no sentido de potencial alto para baixo. Assim, o conceito de potencial da água pode ser utilizado em qualquer ponto do sistema ou contínuo de Solo-Planta-Atmosfera. Torna-se evidente o fato da transpiração ser influenciada pela condição de potencial da água no sistema. KRAMER e BOYERS (1995) mencionam que a taxa de transpiração diminui quando a umidade volumétrica do solo diminui. Então, pode-se dizer que a transpiração possui relação com as condições hídricas, tais como, a umidade volumétrica do solo, umidade gravimétrica e potencial da água do solo. Como a transpiração influencia a fotossíntese, e conseqüentemente a produção de matéria seca e o crescimento, é importante reconhecer os ambientes hídricos do solo para este tipo de pesquisa. Segundo KISHI et al. (2001), o potencial hídrico possui maior correlação com a taxa de crescimento da erva-mate do que com a umidade do solo.

2.8. SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM ERVA-MATE

Os sistemas agroflorestais (SAFs) constituem uma das mais promissoras áreas da atividade humana, capazes de contribuir para o desenvolvimento sustentável mediante o

uso do meio ambiente para satisfazer as demandas por alimentos e energia de uma população crescente no mundo. Além disso, são apontados como opções preferenciais de uso das terras pelo alto potencial que oferecem para aumentar o nível de rendimento em relação aos aspectos agrônômicos, sociais, econômicos e ecológicos (DA SILVA, 1998).

A FAO (1984) entende como SAFs a “um sistema de manejo sustentado da terra que incrementa o rendimento, combina a produção de culturas agrícolas, plantas florestais e animais, simultânea ou consecutivamente, na mesma unidade de terreno, aplicando as práticas de manejo compatíveis com as práticas culturais da população local”.

Em paralelo, para o ICRAF (1977), “SAFs são um sistema de manejo dinâmico com bases ecológicas dos recursos naturais, mediante a integração de árvores em terras agrícolas e pastagens, o qual diversifica e sustenta a produção para aumento dos benefícios de natureza social, econômica e ecológica para os usuários da terra em todos os níveis.

A erva-mate permite a associação com culturas agrícolas, principalmente com milho, feijão, soja e mandioca, nos três primeiros anos de plantio. O consórcio minimiza a necessidade de recursos financeiros para implantação do erval, permitindo a produção de grãos nas terras destinadas à erva-mate (DA CROCE, 1999).

Adicionalmente, por ser uma espécie que permite o corte de seus ramos e folhas, apresenta uma capacidade elevada de rebrota após o corte, desde o colo até as alturas mais elevadas, conforme se observa em plantas de ervais com mais de 100 anos de manejo (CARVALHO, 1994).

Trata-se de uma espécie climática quanto a grupo sucessional. Preferencialmente cresce nas associações mais evoluídas dos pinherais de *Araucaria angustifolia*, ou seja, em Floresta Ombrófila Mista Montana (Floresta de Araucária) (CARVALHO, 1994). Apesar de apresentar dominância apical definida, requer a execução de poda do galho-guia visando induzir a ramificação da planta, uma vez que o objetivo comercial é a produção de biomassa foliar (MAZUCHOWSKI, 1991).

Em sistemas agroflorestais, os efeitos da luminosidade, temperatura e umidade do ar e do solo sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas de erva-mate mostram-se

sobremaneira importantes, principalmente pela competição por luz que se estabelece naqueles ambientes. O crescimento de caules e folhas da erva-mate poderá ser severamente limitado sob condições de sombreamento excessivo por outras espécies (GLIESSMANN, 2000).

RACHWAL et al. (1998 e 2000) concluíram que o fator luminosidade ou radiação fotossinteticamente ativa, aliado a época de poda da erva-mate, induziram variações nos teores dos compostos químicos vinculados ao sabor. Além disso, reportaram sobre a não ocorrência de diferenças significativas nos teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo entre os níveis de luminosidade entre 77,5% e 19%. Os teores foliares de potássio foram inferiores enquanto que o conteúdo de taninos mostrou-se mais elevado no sítio com maior luminosidade relativa de 77,5%.

KASPARY (1985) verificou valores superiores de área foliar, altura do caule e produção de massa de matéria seca de plantas jovens sob condições de sombreamento, tendendo à redução com o aumento da intensidade luminosa de 20% para 60%. No entanto, o número de ramificações das plantas e a taxa fotossintética foram superiores no tratamento de plena luz.

VIEIRA et al. (2003) constataram em experimento sobre a influência microclimática produzida pelo sistema agroflorestal de erva-mate com pinheiro brasileiro *Araucaria angustifolia*, em relação ao sistema de monocultivo da erva-mate, que a diferença pode ser evidenciada pelos valores de temperaturas máxima e mínima absolutas, aliado a amplitude de variação desses parâmetros. A radiação solar foi o parâmetro que exerceu a maior influência na área foliar e na produção de fitomassa de erva-mate. Os efeitos microclimáticos influenciaram o crescimento das plantas de erva-mate independentemente do estágio de crescimento.

De uma forma geral, os diversos estudos têm considerado que o microclima e, em especial, a luminosidade, são fatores determinantes das características de alteração da área foliar e da fitomassa nos cultivos de erva-mate (THOMPSON, 1992; LEE *et al.*, 1997).

2.9. DETERMINANTES DE SOMBREAMENTO EM ERVA-MATE

O sombreamento envolve modificações qualitativas e quantitativas da luz incidente nas folhas das camadas inferiores do dossel de uma floresta. As folhas absorvem grande parte da radiação solar fotossinteticamente ativa pelos pigmentos fotossintetizantes, isto é, na faixa entre 400-700 nm, mas a sua absorção é preferencialmente situada na faixa de onda vermelha e azul (SALISBURY & ROSS, 1992) e sua absorção em vermelho extremo é fraca (BONHOMME, 1993). A radiação não absorvida é refletida ou transmitida pela superfície da folha do dossel, causando um aumento relativo na faixa de verde e extremo vermelho no micro-clima luminoso das plantas vizinhas (BALLARÉ et al., 1990) e no dossel inferior (HOLMES & SMITH, 1975; VARLET-GRANCHER et al., 1993).

COELHO *et al.* (2000) citam o fato de *Ilex paraguariensis* St. Hil. ser uma planta bem adaptada às condições de sub-bosque e, conseqüentemente, uma “reprodutora à sombra”, como algo que muitas vezes dificulta o seu cultivo, devido à mortalidade e ao crescimento lento em condições artificiais. Embora no manejo do erva agrícola busque-se o melhor aproveitamento das áreas, a proteção das mudas do sol é vista como onerosa pelos produtores e apresenta pouca aplicabilidade, fato que implica em estresse associado à luz e ao calor.

A alta taxa de transpiração das plantas sob intensa luminosidade pode contribuir para o transporte do amônio livre para a parte aérea. Plantas cultivadas com sulfato de amônio apresentam maior área foliar sob condições de baixa intensidade de luz (MAGALHÃES & FERNANDES, 1993).

No tocante a exigência lumínica, a erva-mate é caracterizada como planta esciófila, aceitando sombra em qualquer idade, embora tolerando mais luz na fase adulta, além de ser tolerante ao frio (CARVALHO, 1994).

Resultados de respostas produtivas, morfológicas ou fisiológicas desta espécie à radiação solar, em ambiente natural e em condições controladas, são encontradas na literatura. Nesse sentido, GALVÃO (1986) observou que o período de maior resposta anual de fotossíntese líquida de erva-mate ocorre de outubro-novembro até janeiro-fevereiro e que o limite para uso atual é a radiação expressa em Lux, que é a medida de iluminação de ambiente, embora não exista relação com a forma de energia que as plantas usam os recursos radiativos, expressos em fótons.

As plantas desenvolvem dois sistemas opostos como resposta na competição pela luz – tolerância à sombra e intolerância à sombra. As plantas tolerantes à sombra tem menor plasticidade de respostas que as plantas que evitam a sombra (SACK & GRUBB, 2002) e conseguem manter a estrutura da planta, com funções reduzidas (fotossíntese, respiração). A primeira resposta visível na sombra, ou na modificação da qualidade do micro-clima luminoso, como estratégia de evitar a sombra na maioria das espécies, é o alongamento do caule (SEAVERS & SMITH, 1998; APHALO et al., 1999), embora outras respostas fotomorfogenéticas podem ser acentuadas, como no caso de alongamento de pecíolo do trevo branco (RAKOCEVIC, 1997; GAUTIER et al., 2000), alongamento da lamina foliar de *Rumex acetosa* (RAKOCEVIC et al., 1997), redução de ramificação de *Lolium multiflorum* (CASAL et al., 1990), redução do número de folhas emitidas e aumento da área foliar por folha de *Potentilla sp.* (STUEFER & HUBER, 1998).

Em estudo desenvolvido por RAKOKEVIC et al. (2003), verificou-se que a erva-mate responde na sombra primeiramente como espécie que compete pela luz (alongando o caule e aumentando a área foliar por planta). Por outro lado, se a sombra estiver no limite de manutenção, a planta se adapta preservando o seu funcionamento (aumento de área foliar por folha individual, redução na emissão de novas folhas, redução na altura do caule) para esperar as condições de radiação mais favoráveis, as quais normalmente ocorrem devido a abertura de uma clareira.

2.10. CARACTERÍSTICAS DO POLYSOMBRA DIFUSORA

Em decorrência da elevação de temperatura do ar, especialmente na estação de verão, surgem os problemas para os animais, em especial de rebanhos bovinos, leiteiros ou de carne, uma vez que os seus organismos sofrem alterações fisiológicas em resposta ao “stress térmico” causador de redução da produção de leite e de carne, além da diminuição de até 20% da taxa de concepção (LEITE, 2003).

Com a escassa disponibilidade de sombras naturais na maior parte das pastagens em propriedades rurais, surgiram as iniciativas brasileiras para sombreamento artificial mediante a aplicação de tecnologia empregada em outros países, como Israel, Austrália, Estados Unidos e Argentina. Consiste na instalação de estruturas para sombreamento, tanto em currais de espera, como instalações especiais para manter com maior conforto térmico

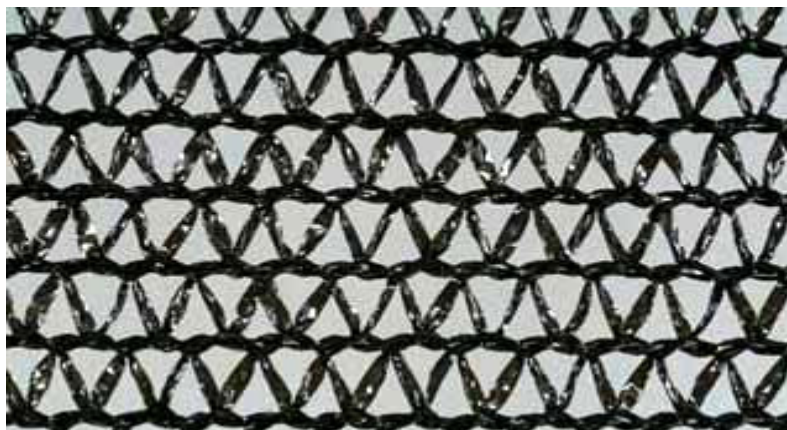
aos rebanhos, durante as horas de maior estresse calórico do dia, bem como, sobre os comedouros e saleiros (GAL, 2003).

O sombreamento é uma intervenção cujo objetivo principal não é o de reduzir a intensidade luminosa mas, principalmente, reduzir a temperatura e a evaporação da água por parte das plantas. O sombreamento deve conseguir transmitir uma fração suficiente de radiação solar da faixa visível (0,38 a 7,6 microns), necessária para o processo de fotossíntese e proteger, o máximo possível, das radiações e dos raios infra-vermelhos curtos (0,26 a 0,25 microns), presentes no espectro solar.

As malhas de sombreamento utilizadas na agricultura foram desenvolvidas para permitir um melhor controle dos níveis de radiação solar, de acordo com os requisitos específicos de cada planta em suas diferentes fases de desenvolvimento vegetativo e distintas estações climáticas. Nesse sentido, existem diferentes tipos de malhas de sombreamento, enquadradas como malhas pretas ou quentes (acumulam e separam o calor, apresentando temperatura das folhas idêntica à temperatura ambiente) e malhas de alumínio ou frias (material isolante e refletor, acarretando uma temperatura das folhas de 2º C mais baixa que a temperatura ambiente, aproximadamente) (LEITE, 2000).

Criada em 1974, a POLYSACK PLASTIC INDUSTRIES (2004) desenvolveu tecnologias para vencer ao longo e seco calor do verão e ao abrasador sol de Israel, mediante mudanças de manejo das plantações e emprego de materiais especializados, dentre os quais encontram-se as malhas de sombreamento Polysombra Difusora.

Essas malhas de sombreamento Polysombra Difusora são fabricadas com polietileno de alta densidade, tendo como características básicas, a leveza do material, não desfiam, textura precisa e uniforme, protegidas contra radiação ultravioleta UV (FIGURA 1). A malha tecida promove a moderação da diferença de temperaturas entre o dia e a noite, controlando o micro-clima em viveiros e estufas de plantas, proporcionando uma sombra uniforme, controlando a circulação do ar e provendo uma ótima transmissão de luz difusa. Além disso, protege da radiação de geadas, bem como, conserva a energia em instalações com aquecimento devido a sua alta reflexão (LEITE, 2003).



AUTOR: @ JORGE Z. MAZUCHOWSKI, 2003.

FIGURA 1 - Detalhe estrutural da malha de sombreamento Polysombra Difusora.

3. METODOLOGIA

3.1. ÁREA EXPERIMENTAL

3.1.1. Localização Geográfica

O experimento com mudas de erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil. foi desenvolvido a partir do mês de agosto de 2002, no Campus I da Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor de Ciências Agrárias, município de Curitiba, região do 1º Planalto do Estado do Paraná, altitude próxima de 900 m, latitude de 25º 12' S e longitude de 49º 6' W, apresentando clima do tipo Cfb, segundo a classificação Koeppen (clima subtropical úmido sem estação seca, com verão fresco, onde a temperatura média do mês mais quente fica abaixo de 22º C).

3.1.2. Área Experimental

Na área experimental de 20 x 36 m, foram implantados três blocos, compostos de quatro tratamentos, com quatro sub-tratamentos em cada um deles (FIGURA 2), num total

de 16 parcelas por bloco, totalizando 48 parcelas experimentais e simulando um erval recém instalado.

Cada parcela é composta por um arranjo de 15 plantas, alinhadas em cinco linhas longitudinais de três plantas cada (FIGURA 3). Não foram estabelecidas plantas de bordadura nas parcelas de cada tratamento, onde as três mudas centrais foram mantidas como reserva técnica para eventuais problemas técnico-operacionais.

O delineamento empregado foi o fatorial com arranjo de blocos ao acaso, composto de quatro tratamentos no fator A (sombreamento) com quatro sub-tratamentos no fator B (adubação nitrogenada), tendo três repetições.

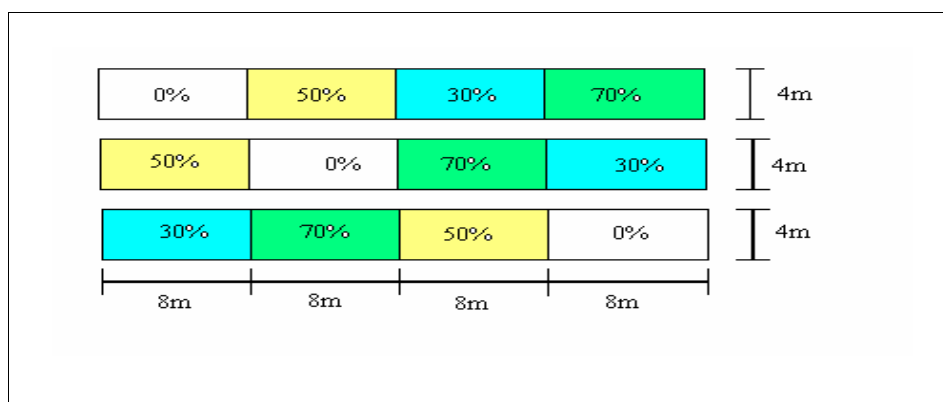


FIGURA 2 - Dimensões e distribuição dos tratamentos com sombreamento nas parcelas dos 3 blocos do experimento com erva-mate, no Campus I da UFPR.

A infra-estrutura inicialmente edificada para a área experimental (FIGURA 4) foi construída com 112 palanques de madeira, utilizando peças com 4 m de comprimento e diâmetro médio de 25 cm. Por razões de segurança operacional, após seis meses foram acrescentados mais 100 palanques de madeira, de forma intermediária aos existentes.



AUTOR: @ JORGE Z. MAZUCHOWSKI, 2003.

FIGURA 3 – Disposição inicial das plantas de erva-mate em cada parcela do experimento no Campus I da UFPR.

O terreno do experimento com as plantas de erva-mate, anteriormente utilizado como campo de forragem para bovinos, foi mantido gramado, com controle periódico das ervas daninhas invasoras, para manter ambiente adequado às atividades pedagógicas para acadêmicos e produtores rurais além do manejo silvicultural. Para tanto, a cada 45 dias foi efetuada a roçada mecânica do perímetro experimental.



AUTOR: @ JORGE Z. MAZUCHOWSKI, 2003.

FIGURA 4 – Visão geral da área experimental com erva-mate, no Campus I da UFPR.

3.2. CONDUÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL

3.2.1. Critério de Condução dos Tratamentos

Para a condução dos tratamentos foi estabelecido o critério de crescimento vegetativo independente, norteado pelas premissas:

- Manter as plantas de erva-mate sem alterar suas características morfológicas, especialmente da sua parte aérea, para crescimento livre.
- Manter as parcelas somente com mudas de erva-mate, sem nenhuma outra planta consorciada, visando o controle exclusivo das mesmas.
- Manejar a germinação e o crescimento das ervas concorrentes nas embalagens de erva-mate, mensalmente através da catação manual.
- Manejar mecanicamente com roçadas as ervas daninhas desenvolvidas no perímetro do experimento, a cada 45 dias aproximadamente.
- Manutenção de 3 plantas em cada parcela do experimento, como reserva técnica para eventuais danos físicos causados por intempéries climáticas ou outros agentes externos.
- Não empregar meios artificiais para modificação ambiental, em especial voltados ao controle químico de pragas e doenças, aliado a abundante presença de pássaros na área limítrofe e na estrutura do experimento, como sábia, João-de-barro, bem-te-vi, beija-flor, tico-tico, pardal, sanhaço, quero-quero, canário-da-terra, coleirinho, pomba silvestre, rolinha.

3.2.2. Procedimentos Metodológicos

O monitoramento constante e seqüencial do material empregado, de sementes e mudas de erva-mate, substrato-solo e embalagens destinadas ao plantio, adubo nitrogenado e água de irrigação, constituiu ferramenta metodológica na condução do trabalho experimental.

Os quatro tratamentos, instalados em cada um dos 3 blocos experimentais (TABELA 2), sofreram intervenção de procedimentos agrônômicos durante o trabalho experimental da erva-mate, tendo como variável constante a luminosidade em quatro diferentes intensidades (pleno sol, 70%, 50% e 30%), e como variável interveniente sobre as

diferentes intensidades de luminosidade foi a aplicação de nitrogênio sobre o substrato-solo, à base de oito quilos por embalagem, efetuada no mês de janeiro de 2003, em aplicação de dose única.

TABELA 2 – Tratamentos e sub-tratamentos estabelecidos na área experimental com mudas de erva-mate, no Campus I da UFPR (2002).

TRATAMENTO (Fator A)	LUMINOSIDADE AMBIENTAL	SUB-TRATAMENTOS (Fator B)	NITROGÊNIO NO SUBSTRATO-SOLO
T 0	100 %	0N	0 g / planta
T 1	70 %	1N	25 g / planta
T 2	50 %	2N	50 g / planta
T 3	30 %	3N	75 g / planta

3.2.3. Sementes de Erva-Mate

No início do ano de 2002, a coleta de frutos de erva-mate foi efetuada em árvores matrizes, localizadas na Fazenda Nova, de propriedade da Indústria Ervateira Bitumirim, município de Ivaí -PR. Na seqüência, efetuou-se a maceração dos frutos colhidos para a obtenção das sementes de erva-mate.

Visando acelerar o processo de obtenção das plântulas de erva-mate, foi efetuada a semeadura direta das sementes nas embalagens destinadas às mudas comerciais, ou seja, em sacos de polietileno preto-opaco de 18 x 6 cm, contendo perfurações laterais para drenagem de excessos hídricos. A quebra de dormência das sementes aconteceu a partir do mês de fevereiro.

Após a germinação das sementes, seguida do desenvolvimento das plântulas, as mudas de erva-mate atingiram no final do mês de agosto, as condições mínimas para plantio definitivo em número de folhas e em diâmetro de colo (altura da parte aérea de 15 cm, diâmetro de colo de 2 mm e 5 pares de folhas).

3.2.4. Solo-Substrato das Embalagens

O solo utilizado como substrato nos sacos plásticos do experimento foi obtido no Parque Castelo Branco, município de Pinhais, no início do mês de setembro de 2002,

sendo classificado como Organossolo háplico, de acordo com a classificação Brasileira de Solos (EMBRAPA SOLOS, 1999). Embora não representasse o melhor substrato-solo para a condução do experimento, de forma a ser representativo da região produtora de erva-mate, foi utilizado devido a ser o material fornecido pela EMATER-Paraná, a partir de uma área de empréstimo disponível.

Anteriormente à colocação do solo nas embalagens, efetuou-se o peneiramento, empregando uma peneira para areia grossa, visando a retirada dos detritos estranhos e torrões aliado a uniformização textural.

Foram coletadas amostras do substrato-solo junto às parcelas do experimento, tendo sido analisadas pelo Laboratório de Análises de Solos do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. A caracterização média apresentou como parâmetros:

a) Média dos Resultados na Análise Física de Solos:

25 % de argila, 60 % de silte, 15 % de areia

b) Média dos Resultados na Análise Química de Solos:

pH (CaCl ₂): 4,8	Al ⁺³ : 1,30 cmol / dm ³	H+Al: 11,30 cmol / dm ³
Ca (+2) + Mg (+2): 9,20 cmol / dm ³	Ca (+2) : 6,00 cmol / dm ³	
K ⁺ : 0,20 cmol / dm ³	P: 22,0mg / dm ³	C : 46,2 g / dm ³
T : 20,28 cmol / dm ³		V: 44,28 %

3.2.5. Mudas de Erva-Mate

As mudas destinadas ao experimento foram selecionadas no canteiro, atendendo aos normativos da Comissão Estadual de Sementes e Mudas – Sub-Comissão de Sementes e Mudas Florestais (1997) em suas medidas mínimas, ou seja, altura de 15 a 25 cm (adotando-se 20 cm) e diâmetro de colo de 2,5 milímetros, correspondentes a cinco pares de folhas por planta.

As mudas foram transplantadas para embalagens plásticas constituídas por sacos de polietileno preto-opaco de 15 x 30 cm, com perfurações laterais para drenagem. Estas

embalagens são empregadas para “mudas de espera”, ou seja, para sustentar uma planta durante um ano, tendo uma capacidade para 8 quilos de substrato-solo.

O experimento foi efetivamente instalado na área experimental no mês de outubro de 2002, com a colocação das plantas de erva-mate em cada parcela, de forma agrupada.

3.2.6. Dosagem e Aplicação de Nitrogênio

A dosagem de nitrogênio a ser aplicado nas parcelas foi definida à base de 50% da recomendação usual para as plantas de erva-mate com mais de cinco anos de idade, estabelecida pelos órgãos de pesquisa (DA CROCE & FLOSS, 1999; MEDRADO *et al.*, 2000), tendo em vista os riscos da proposta experimental, decorrentes das dosagens elevadas a serem utilizadas (2N e 3N).

A aplicação de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio, em dose única nas parcelas, foi efetuada no final do mês de janeiro de 2003, aos 3 meses de campo, visando estabelecer melhor aproveitamento do fertilizante pelas plantas de erva-mate. Desta forma, como sub-tratamentos (fator B) foram estabelecidas quatro situações específicas de nitrogênio aplicado nas plantas:

- 0N = sem aplicação de N nas plantas da parcela
- 1N = aplicação única de 25 gramas por embalagem
- 2N = aplicação única de 50 gramas por embalagem
- 3N = aplicação única de 75 gramas por embalagem.

O período de aplicação foi estabelecido em função da duração do experimento, além da estação de verão ser a que apresenta plantas com o máximo de exigência nutricional, face níveis de crescimento em sua plenitude. Para agilizar a aplicação do sulfato de amônio em cada planta, selecionou-se um vasilhame que foi utilizado como medidor para cada tipo de dosagem, apropriado a cada sub-tratamento do experimento.

A aplicação do nitrogênio em cobertura, ao redor das plantas de erva-mate, foi efetuada após terem sido desenvolvidas as diversas aferições ambientais e morfológicas programadas para o final do mês de janeiro de 2003, ao final da série de três dias com medições específicas, após as 16:00 horas de um dia ensolarado e quente, com baixa umidade relativa do ar, ao redor de 44% a pleno sol.

3.2.7. Irrigação

Para execução da irrigação das plantas adotou-se o critério de encharcamento superficial do substrato-solo das embalagens, com o apoio de uma mangueira d'água acoplada ao sistema de fornecimento de água, de forma a simular uma condição pluviométrica natural.

Estabeleceu-se um cronograma de irrigação (TABELA 3), com frequência variável no decorrer dos meses do experimento, de conformidade com o desenvolvimento das plantas de erva-mate.

TABELA 3 – Cronograma de irrigação das plantas de erva-mate no decorrer das estações climáticas, no Campus I da UFPR.

PERÍODO MENSAL	FREQUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO
Outubro	2 vezes ao dia
Novembro a Janeiro	Diária
Fevereiro a Abril	2 vezes por Semana
Maio a Julho	Semanal
Agosto a Outubro	Quinzenal

3.3. EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS DO EXPERIMENTO

3.3.1. Material de Sombreamento

Para reproduzir as condições de luminosidade solar desejadas foram adotadas três diferentes tipos de malhas, simulando as condições encontradas na natureza, além de atender aos requisitos do estágio das plantas em cada estação climática. Para tanto, empregou-se o material da Polysack do Brasil, ou seja, mantas de Polysombra Difusora (FIGURA 5) visando estabelecer graus diferenciados de sombreamentos para 70%, 50%, 30% e 0%, embora em condições de uniformidade em cada parcela.



AUTOR: @ JORGE Z. MAZUCHOWSKI, 2003.

FIGURA 5 - Vista geral do experimento com erva-mate, com destaque das Malhas Polysombra Difusora sobre as parcelas e blocos.

As mantas de sombreamento Polysombra Difusora constituem numa malha tecida de alta qualidade, reciclável e resistente a produtos agroquímicos, usada em uma ampla gama de cultivos para proporcionar sombra uniforme para plantas, impedir o acesso de pássaros e controlar a circulação de ar em viveiros e estufas. As fibras contêm aditivos resistentes aos raios solares UV, proporcionando durabilidade e longa vida útil à malha.

3.3.2. Equipamentos de Medição das Condições Ambientais

A coleta de informações dos fatores ambientais foi realizada sistematicamente sempre numa seqüência de três dias consecutivos de leituras, efetuadas a cada 45 dias, em três horários diários, às 9:00, 12:00 e 15:00 horas.

a) Temperatura do Substrato-Solo

Os termômetros de coluna de mercúrio foram instalados no meio de cada um dos quatro tratamentos de sombreamento, somente no segundo bloco do experimento, para leituras a 5 e 10 centímetros de profundidade no solo (FIGURA 6).



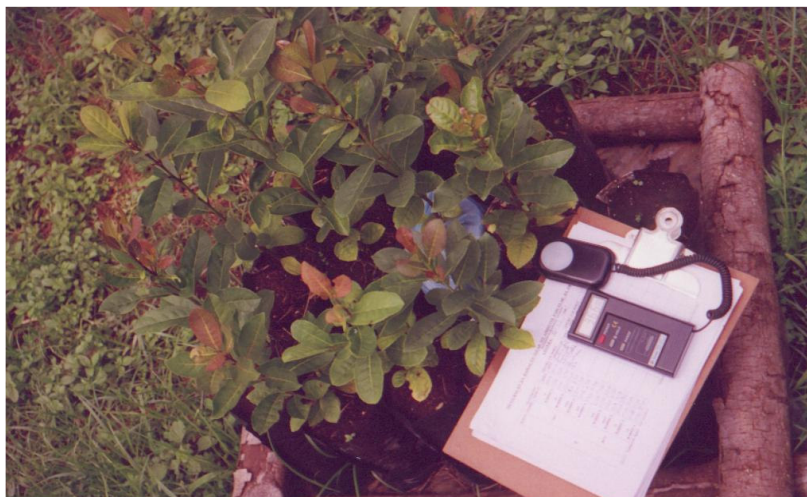
AUTOR: @ JORGE Z. MAZUCHOWSKI, 2003.

FIGURA 6 - Termômetros de coluna de mercúrio para leitura das temperaturas a 5 e a 10 cm de profundidade, no substrato-solo das embalagens plásticas contendo plantas de erva-mate.

Sempre foram utilizadas as mesmas embalagens das mudas de erva-mate na instalação do equipamento, para preservar a correlação dos dados entre as diferentes leituras e permitir a comparação com as demais leituras de temperatura do ar e umidade relativa do ar.

b) Luminosidade Solar ou Ambiental

As medições de luminosidade solar foram desenvolvidas sempre ao nível do substrato-solo e do ápice das plantas correspondentes a cada monitoramento, com leituras sistemáticas em cada uma das parcelas do experimento (FIGURA 7).



AUTOR: @ JORGE Z. MAZUCHOWSKI, 2003.

FIGURA 7 – Emprego do luxímetro digital na leitura dos índices de luminosidade ambiental nas parcelas de erva-mate.

Adicionalmente, as leituras de dados foram efetuadas em locais fixos, sempre na mesma planta, seja quanto a localização na parcela seja em relação a altura da medição pelo Luxímetro digital.

c) Temperatura do Ar

As medições da temperatura do ar foram realizadas com o auxílio de termômetros de máxima e de mínima, instalados no meio de cada um dos quatro tratamentos de sombreamento, do segundo bloco do experimento (FIGURA 8).

O procedimento para instalação dos instrumentos sempre utilizou as mesmas embalagens das mudas de erva-mate, para preservar a correlação dos dados entre as diferentes leituras e com as demais leituras de temperatura do solo e umidade relativa do ar.



AUTOR: @ JORGE Z. MAZUCHOWSKI, 2003.

FIGURA 8 – Utilização de termômetro de máxima e mínima para monitoramento da temperatura média do ar na área experimental de erva-mate, suspenso na barrica-suporte de outro experimento.

c) Umidade Relativa do Ar

Para viabilizar as leituras de umidade relativa do ar foram utilizados quatro psicrômetros, todos instalados no meio de cada um dos quatro tratamentos de sombra, em cada um dos três blocos do experimento (FIGURA 9).

d) Intempéries Climáticas na Área Experimental

No final do mês de maio de 2003, no sétimo mês de monitoramento, ocorreu a queda parcial da estrutura física do experimento (palanques e cobertura de sombreamento), em decorrência de forte vendaval associado a chuva de granizo, sem danos às plantas de erva-mate. Em decorrência, foram substituídos e reforçados os palanques da estrutura.



AUTOR: @ JORGE Z. MAZUCHOWSKI, 2003.

FIGURA 9 – Uso de psicrômetros para monitoramento da umidade relativa do ar na área experimental de erva-mate.

3.4. SISTEMA METODOLÓGICO DE AFERIÇÃO DOS TRATAMENTOS

3.4.1. Crescimento Vegetativo das Plantas

As plantas de erva-mate foram caracterizadas morfológicamente em oito momentos diferentes, a cada ciclo de 45 dias, com mensurações específicas:

- * No momento do plantio - outubro / 2002 (início da primavera)
- * Após 3 meses de plantio – janeiro / 2003 (meados do verão)
- * Após 6 meses de plantio – abril / 2003 (meados do outono)
- * Após 9 meses de plantio – julho / 2003 (meados do inverno)
- * Aos 12 meses de plantio – outubro / 2003 (meados da primavera).

Nesse sentido, foram efetuadas medições individuais de cada planta, em cada parcela do experimento, buscando a média dos indicadores morfológicos selecionados:

- Altura de cada planta por parcela
- Diâmetro basal do caule por planta e parcela (junto da superfície do solo)
- Quantidade de folhas por planta e estação climática
- Quantidade de ramos por planta e parcela.

Na viabilização das leituras das plantas, empregou-se um paquímetro florestal para determinação do diâmetro de caule e uma régua graduada na medição da altura de plantas.

3.4.2. Determinação da Fitomassa por Planta

A medição da fitomassa por planta – sistema radicular e parte aérea – foi desenvolvida em 4 séries de leituras, por estação climática característica, correspondentes a cada planta amostrada por ciclo de 90 dias – verão (janeiro), outono (abril), inverno (julho) e primavera (outubro). Nesse sentido, obtiveram-se parâmetros referentes a cada planta:

- Área total da parte aérea (cm²)
- Comprimento total das folhas (cm)
- Volume da parte aérea (cm³)
- Área da superfície radicular (mm²)
- Comprimento total das raízes (cm)
- Volume do sistema radicular (cm³).

Para a determinação dos parâmetros de fitomassa por planta utilizou-se de Scanner de Mesa específico, acoplado a um computador dotado do programa WinRhizo, do Laboratório de Análises de Plantas do Departamento de Fitotecnia da UFPR (FIGURA 10), para leitura individualizada do sistema radicular e da parte aérea de cada planta de erva-mate, na forma recém-colhida ou verde.

As leituras efetuadas contemplaram os dados médios referentes às dimensões foliares – área total da superfície foliar (cm²), espessura média das folhas (mm), comprimento total das folhas (cm), - e às dimensões radiculares - comprimento total das raízes (cm), área da superfície das raízes (cm²), espessura média das raízes (mm).

Na seqüência da caracterização da biomassa por planta de erva-mate efetuou-se a identificação da produtividade foliar e do sistema radicular por planta, mediante a pesagem individualizada, visando estabelecer:

- Peso da massa recém colhida ou verde por planta em cada estação climática
- Peso da massa seca por planta em cada estação climática.

Para o transporte de cada planta, em partes separadas do sistema radicular e da parte aérea, da área experimental até o laboratório, foram empregados sacos plásticos de 3

quilos para o acondicionamento específico, todos com identificação individual.



AUTOR: @ JORGE Z. MAZUCHOWSKI, 2003.

FIGURA 10 – Scanner de mesa com software WinRhizo para leituras de parâmetros vegetativos – folhas e raízes da erva-mate.

No laboratório do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, efetuou-se inicialmente a determinação do peso da massa verde ou recém colhida das raízes e folhas por planta de erva-mate, utilizando uma Balança Eletrônica portátil, com precisão para leituras de 0,1 grama. Na seqüência, os materiais foram transferidos para sacos de papel de 5 quilos, também com identificação individual, visando viabilizar a secagem em estufa. Foi utilizada uma Estufa de Secagem Fable visando a obtenção do peso seco de raízes e folhas das plantas de erva-mate. O tempo de secagem estabelecido foi de 48 horas nas séries de medições, com temperatura constante de 50° C.

As pesagens da biomassa das plantas de erva-mate foram realizadas em laboratório, sendo os resultados referentes à média das pesagens relativas ao desenvolvimento da biomassa vegetal, mediante comparativo do peso úmido e peso seco da biomassa foliar e da biomassa radicular das plantas de erva-mate, por tipo de sombreamento e dosagens de adubação nitrogenada aplicada.

As estações de verão e de inverno foram comparadas especificamente, por constituírem duas estações climáticas contrastantes, aliado a separação por um período de

seis meses entre as leituras efetuadas. Adicionalmente, devido aos efeitos danosos das dosagens elevadas de nitrogênio (2N e 3N), com mortalidade de plantas após sua aplicação no verão, optou-se por usar apenas os dados com tratamentos 0N e 1N.

a) Amostragem de Folhas

Para desenvolver o processo analítico das plantas de erva-mate, foi estabelecido como metodologia de coleta das folhas de erva-mate mediante a retirada de toda a parte aérea da planta prevista para o corte amostral da estação climática (FIGURA 11). Adicionalmente, estabeleceu-se uma seqüência para coleta das amostragens de parte aérea das plantas, em cada uma das parcelas do experimento, mantendo o mesmo procedimento:

- A primeira amostragem foi com as 3 mudas da posição oeste, na parte externa.
- A segunda amostragem foi com as 3 mudas da posição leste, na parte externa.
- A terceira amostragem correspondeu às 3 mudas da parte oeste na parcela.
- A quarta amostragem foi desenvolvida com as 3 mudas da parte leste.

Cada amostragem foi efetuada mediante o corte das 3 plantas existentes em cada parcela, ao nível do colo basal, previstas para amostragens em cada estação climática, sendo destinadas respectivamente:

* *Planta da Esquerda* – inicialmente mediante a utilização do Programa WinRhizo adequado, foram obtidos parâmetros médios do comprimento total das folhas, área total da superfície foliar e diâmetro médio das folhas de cada planta de erva-mate. Na seqüência, foi efetuada a pesagem individual (massa verde e massa seca), seguida do encaminhamento das amostras para análise da composição química da parte aérea, buscando dados por planta a serem fornecidos pelo Laboratório de Análises Geo-Química do Setor de Ciências Agrárias da UFPR. Em decorrência de problemas técnicos no laboratório, os resultados analíticos da biomassa foliar, das quatro baterias de amostragens efetuadas, foram entregues em período incompatível e coincidente com o encerramento do prazo para entrega da presente dissertação, sem condições de analisar os resultados e as relações decorrentes.

* *Planta Central* – para análise dos teores de clorofila e estômatos nas folhas de erva-mate, buscando dados decorrentes dos tipos de sombreamento com e sem adição de nitrogênio (1N), em pesquisa desenvolvida pelo Curso de Pós-Graduação de Botânica, do

Setor de Ciências Biológicas da UFPR.

* *Planta da Direita* – para análise da composição dos teores de elementos químicos das folhas, buscando parâmetros detalhados em pesquisa específica desenvolvida pelo Curso de Pós-Graduação de Engenharia Química da UFPR.

b) Amostragem das Raízes

Para desenvolver o processo analítico das plantas de erva-mate, foi estabelecido como metodologia de coleta das raízes de erva-mate, a retirada de toda a parte subterrânea da planta prevista para o corte amostral da estação climática (FIGURA 11).

A cada medição da biomassa radicular de cada planta foi efetuada a retirada prévia do substrato-solo de cada embalagem, com auxílio de água, para posterior separação das duas partes da planta. Após a lavagem e secagem parcial de cada planta amostrada, procedeu-se ao seccionamento na altura do colo, em parte aérea e parte radicular. Da área experimental para o laboratório, o transporte amostral foi efetuado com auxílio de sacos plásticos, com identificação numérica individual de cada material.



AUTOR: @ JORGE Z. MAZUCHOWSKI, 2003.

FIGURA 11 - Comparativo do crescimento entre o sistema radicular e parte aérea da planta de erva-mate, após a retirada do saquinho plástico, destacando a proporcionalidade do vegetal.

Adicionalmente, estabeleceu-se como seqüência de amostragem de plantas em cada uma das parcelas do experimento, observando o mesmo procedimento:

- A primeira amostragem foi com as 3 mudas da posição oeste, na parte externa.
- A segunda amostragem foi com as 3 mudas da posição leste, na parte externa.
- A terceira amostragem correspondeu às 3 mudas da parte oeste na parcela.
- A quarta amostragem foi desenvolvida com as 3 mudas da parte leste.

Cada amostragem foi efetuada mediante a retirada do sistema radicular de cada planta existente em cada parcela, prevista para amostragem em cada estação climática, sendo destinadas respectivamente:

* *Planta da Esquerda* – inicialmente mediante a utilização do Programa WinRhizo adequado, foram obtidos parâmetros médios do comprimento total das raízes, área total da superfície radicular e diâmetro médio das raízes de cada planta de erva-mate. Na seqüência, foi efetuada a pesagem individual (massa verde e massa seca).

* *Planta Central* – monitoramento da rebrota da planta após o corte da parte aérea, junto ao colo, para obtenção de novos indicadores fora do experimento.

* *Planta da Direita* – monitoramento da rebrota da planta após o corte junto ao colo, para obtenção de dados adicionais fora do experimento.

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados levantados em cada uma das diferentes aferições estabelecidas, após as medições e/ou análises laboratoriais, foram devidamente colocados em planilhas preliminares, elaboradas manualmente. Posteriormente, foram disponibilizados em planilhas eletrônicas, para receber o tratamento estatístico correspondente.

3.6.1. Desenvolvimento Vegetativo

As análises dos dados coletados no experimento foram desenvolvidas de forma a permitir a verificação de aspectos relativos ao desenvolvimento das plantas de erva-mate, destacando em particular os seguintes indicadores:

- * Plantas Sombreadas versus Plantas a Pleno Sol
- * Efeito da Luminosidade versus Efeito do Sombreamento
- * Plantas a Pleno Sol versus Efeito da Aplicação do Nitrogênio
- * Efeito do Sombreamento versus Efeito da Aplicação do Nitrogênio.

3.6.2. Métodos Estatísticos Utilizados

Em todos os resultados coletados, referentes aos aspectos climáticos do ambiente do experimento, bem como, nos relativos ao comportamento das plantas de erva-mate, foram submetidos à análise estatística utilizando-se seqüencialmente dos programas “Microsoft Excel” e “Sirichai’s Statistics”, obtendo-se os parâmetros concernentes a cada tópico analisado, aliado ao Teste de Duncan referente aos níveis de variância e significância dos dados.

De posse dos parâmetros estatísticos levantados, efetuou-se a seleção dos dados mais representativos perante os objetivos do experimento, de forma a reduzir o volume de detalhes decorrente da variedade de informações disponibilizadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Aspectos Climáticos do Ambiente

Dentre os aspectos climáticos analisados durante os 8 períodos climáticos, foram monitorados os valores médios da umidade relativa do ar, temperatura do solo a 10 e 5 centímetros de profundidade, da temperatura máxima do ar e da intensidade luminosa junto ao solo, em três horários diários (TABELA 4).

As estações climáticas de verão e inverno ofereceram os dados climáticos mais contrastantes, decorrente da característica de cada estação, donde a seleção dos parâmetros climáticos para efeito analítico.

4.1.1. Umidade Relativa do Ar

Pela análise dos indicadores médios de umidade relativa do ar (TABELA 4), verificou-se claramente que no horário das 12:00 horas ocorre o menor parâmetro diário, em qualquer época do ano e independente do tipo de sombreamento, basicamente em função da intensidade da radiação solar. Por sua vez, os parâmetros médios das 15:00 horas estão ligados às condições climáticas ocorrentes no dia, ou seja, à influência local dos ventos de direção predominante leste-oeste, denominados de “vento do mar”, estabelecendo alterações e gerando dados intermediários às condições dos outros horários.

Os resultados da umidade relativa do ar frente os tratamentos de sombreamento demonstram que são inversamente proporcionais, sendo observado que a pleno sol ocorrem as menores umidades relativas do ar, nos três períodos do dia monitorados, apesar de ser méis evidente no período da tarde. Corroborando com resultados de ESPÍNDOLA JUNIOR (2004), esses indicadores demonstram que a luminosidade é um fator que pode condicionar alterações espaciais que determinam um microclima associado aos tratamentos de sombreamento, onde a umidade relativa do ar (condicionada pela luminosidade ambiental) pode interferir indiretamente na transpiração foliar e determinar alterações morfológicas.

TABELA 4 - Valores médios da umidade relativa do ar, da temperatura do solo a 10 cm e 5 cm de profundidade, da temperatura máxima do ar e da intensidade de luminosidade no ambiente parcelar da erva-mate, verificados no verão e inverno.

SOMBRA	INDICADOR AMBIENTAL	VALORES DE MÉDIAS					
		VERÃO			INVERNO		
		9h00	12h00	15h00	9h00	12h00	15h00
70 % 50 % 30 % 0 %	Umidade Relativa do Ar (%)	92,30 91,91 84,23 89,07	90,84 90,08 74,63 75,51	91,00 86,82 74,65 78,57	84,25 85,04 82,25 83,51	79,36 78,65 73,75 69,48	88,18 88,72 84,60 81,95
70 % 50 % 30 % 0 %	Temperatura do Solo a 10 cm (° C)	18,1 18,4 18,7 20,4	18,1 18,4 18,7 20,4	19,8 20,1 20,7 24,0	12,7 12,8 12,5 12,7	16,4 15,1 15,2 18,6	21,1 18,2 20,4 29,0
70 % 50 % 30 % 0 %	Temperatura do Solo a 5 cm (° C)	19,1 17,8 18,6 19,4	19,1 17,8 18,6 19,4	20,9 20,8 21,6 22,9	12,5 12,8 13,5 13,8	16,0 16,0 19,6 21,5	18,9 18,2 21,1 23,2
70 % 50 % 30 % 0 %	Temperatura Máxima do Ar (° C)	20 20 19 24	22 22 21 25	24 24 24 28	15 15 16 17	21 21 21 27	25 24 22 29
70 % 50 % 30 % 0 %	Intensidade Luminosa (lux)	13.517 23.778 25.490 47.748	10.367 15.156 20.562 21.184	7.917 13.717 16.212 28.770	26.770 31.376 30.862 29.112	28.323 46.967 65.426 88.070	24.042 30.862 41.812 50.781

Analisando os dados médios de cada bloco do experimento, por tipo de sombreamento adotado, verificou-se que os dados obtidos com 70% e 50% são bastante próximos entre si, com a ressalva de que:

- No horário das 9:00 horas, a umidade relativa do ar mais elevada encontra-se no sombreamento de 70% e a mínima em 0% de sombra, atingindo diferenças de até 10% entre os sistemas, nos meses de verão-outono, embora reduza e seja de apenas 1-2% nos meses de inverno-primavera.
- No horário das 12:00 horas, a situação repete-se embora as diferenças oscilem em parâmetros maiores, variando de 15% nos meses de verão a 20% no outono, reduzindo nos meses de inverno –primavera quando fica em 6-8%.
- No horário das 15:00 horas, repete-se a situação das 12:00 horas, embora os parâmetros médios obtidos demonstrem diferenças intermediárias entre os dois outros horários de leituras.

Esses dados são comprobatórios do horário ideal para práticas silviculturais e de sua eficácia, especialmente no inverno quando se efetua a colheita e no verão / inverno quando se efetua o manejo das ervas daninhas (o ideal é cortar as folhas após as 9:00 horas quando é menor a umidade ambiental).

4.1.2. Temperatura do Solo

Na análise dos dados de temperaturas de solo em profundidades de 5 cm e 10 cm, observaram-se diferenças marcantes entre os tratamentos que demonstram a importância do sombreamento para a erva-mate (TABELA 4). Desta forma, observou-se que as alternativas técnicas para preservação da umidade do solo e/ou do ar, em condições de estiagem e/ou de radiação solar intensa normalmente ocorrentes na estação de verão-outono, podem ser aplicadas nos ervais.

Quanto maior o sombreamento, tanto menor é a temperatura do solo, variando adicionalmente do horário matinal ao vespertino quando atinge os ápices diários. A variação da temperatura do solo, no decorrer das 3 leituras diárias, é maior nos meses mais quentes (oscilação ao redor de 1º C de um tipo de sombreamento utilizado para outro), sendo menor nos meses mais frios (ao redor de apenas 0,4º C entre os tratamentos).

A oscilação diária da temperatura do solo, nos diversos tratamentos, comparativamente entre as duas profundidades analisadas, nos 3 horários de medições, foi menor nas medições a 10 cm de profundidade quando comparada com a de 5 cm de profundidade. Em profundidades maiores ocorre mais estabilidade da temperatura, com pouca alteração entre os tipos de sombreamento adotados, devido a baixa influência de turbulências típicas da superfície do solo, como vento, chuva ou garoa, neblina.

Quanto maior o grau de sombreamento do solo e das plantas, tanto menor foi a variação de temperatura do solo. Em todos os tratamentos com sombreamento, observou-se que as leituras efetuadas às 15:00 horas apresentaram valores de temperaturas do solo e de temperatura do ar, com indicadores médios de valor menor ou similar àqueles obtidos no horário das 9:00 horas, enquanto no horário das 12:00 horas ocorreram os maiores parâmetros específicos.

4.1.3. Temperatura Máxima do Ar

A variação da amplitude de temperaturas máximas do ar, no decorrer das três leituras diárias (TABELA 4), é menor nos meses mais quentes sendo maior nos meses mais frios (oscilação ao redor de 1º C de um tipo de sombreamento para outro, em especial no horário da tarde). Essas observações coincidem com os resultados obtidos por VIEIRA *et al.* (2003), comparando os três tipos de sombreamento a pleno sol.

Analisando os dados médios de cada bloco, por tipo de sombreamento adotado, verificou-se que os dados de 50% e 70% são muito próximos entre si, porém:

- No horário das 9:00 horas do verão, a temperatura máxima do ar foi obtida em condições de sombreamento a 70% enquanto no inverno foi observada a 30%, devido ao tipo de material empregado no experimento.
- No horário das 12:00 horas da estação de verão repetiu-se a situação, embora no inverno não tenha ocorrido diferenciação entre os tratamentos.
- No horário das 15:00 horas da estação de verão, a temperatura máxima do ar foi obtida sem variação entre os sombreamentos, enquanto no inverno verificou-se o resultado máximo a 70% de sombreamento pela proteção ambiental estabelecida.

Os indicadores levantados no decorrer do ano, na média dos três horários de medição por estação climática e tipo de sombreamento, demonstram que a temperatura do ar mais elevada é obtida nas condições de pleno sol ou sem sombreamento, enquanto a temperatura do ar mais baixa é verificada nas condições de 70% de sombreamento.

Estes parâmetros são válidos tanto para a temperatura máxima como para a temperatura mínima. Nas condições de 30% e de 50 % de sombreamento, os valores de temperatura do ar são bastante similares, especialmente às 12:00 e 15:00 horas. Por outro lado, nas estações mais quentes do ano, de verão e outono, foi verificada a ocorrência de temperatura do ar mínima ligeiramente inferior nos tratamentos com maior grau de sombreamento, especialmente de 50 e 70%, em comparação com as condições de pleno sol. Já na estação do inverno ocorre uma inversão dessa situação ambiental, pela maior estabilidade do ar em condições mais protegidas.

4.1.4. Intensidade Luminosa

A resposta da planta em relação à luz pode ser avaliada por meio da análise das características morfológicas – altura, peso da biomassa seca, a relação raiz / parte aérea e o diâmetro de caule, conforme referido por LOGAN (1969).

O grau de luminosidade solar no ápice da planta é aproximadamente 20 % superior ao verificado junto ao colo da mesma, independentemente do horário do dia e do grau de sombreamento estabelecido (TABELA 4). Por outro lado, a redução dos níveis de radiação solar atinge valores de até 300% quando se analisa uma planta a pleno sol e outra em condições de 70% de sombreamento, em especial na leitura das 9:00 horas, uma vez que nos outros dois horários de medições diárias essa diminuição é menos contrastante. A menor intensidade luminosa no decorrer do dia, verificou-se no horário das 15:00 horas, independente do grau de sombreamento estabelecido.

Por outro lado, verificou-se uma estreita correlação entre os dados referentes aos níveis de luminosidade solar e as condições de temperatura do solo e da umidade relativa do ar, demonstrando uma possibilidade de desenvolvimento vegetal mais apropriado nas condições de sombreamento.

4.2. Efeito das Dosagens de Nitrogênio Aplicadas

Dentre os resultados decorrentes da adubação nitrogenada foram observados e analisados os aspectos referentes à mortalidade, ao crescimento e ao peso da biomassa foliar e radicular das plantas de erva-mate.

O condicionante analítico dos resultados foi estabelecido pelo índice de mortalidade de plantas, decorrente da adição de adubo nitrogenado na estação climática de verão, com plantas muito sensíveis especialmente naquelas submetidas à maior exposição solar. O fator grau de sombreamento indicou a correlação entre os fatores atuantes sobre o desenvolvimento da erva-mate – crescimento das plantas e peso da biomassa.

4.2.1. Mortalidade de Plantas

Na interpretação dos resultados, o elevado grau de temperatura do ar e os baixos

níveis de umidade relativa verificados no decorrer do mês de janeiro, associados à adição do adubo nitrogenado na forma de sulfato de amônio, ao redor da planta em cada embalagem, geraram uma condição estressante para o desenvolvimento da planta, acarretando a definição do índice de mortalidade ocorrido em cada tratamento (FIGURA 12).



AUTOR: @ JORGE Z. MAZUCHOWSKI, 2003.

FIGURA 12 - Aspecto da mortalidade das plantas de erva-mate em parcela após 45 dias de adição do nitrogênio (3N).

A leitura dos dados de verão foi efetuada posteriormente à aplicação do adubo nitrogenado, estando bem definida a situação vegetativa das plantas, na metade do mês de março, decorridos 45 dias de sua adição (TABELA 5).

Para avaliação da resistência das plantas às condições ambientais adversas, em especial decorrentes de dosagens elevadas de nitrogênio, os dados de inverno correspondem à situação das plantas com 210 dias de campo, no mês de junho, comparativamente às condições iniciais do experimento.

a) Leitura de Verão (após 45 dias da adição de nitrogênio)

Em todos os tratamentos sem adição de adubação nitrogenada (0N), independentemente do grau de sombreamento dado para as plantas de erva-mate, não ocorreu mortalidade. Tal situação era esperada, frente os parâmetros quantitativos apresentados pelo resultado da análise físico-química do substrato-solo utilizado nas embalagens plásticas, originalmente com altos níveis de fertilidade natural.

TABELA 5 - Evolução dos índices de mortalidade das plantas de erva-mate, decorrente da aplicação de adubo nitrogenado em diferentes graus de sombreamento, verificado nas condições climáticas de verão e de inverno.

GRAU DE SOMBRA	DOSAGENS DE NITROGENIO	ÍNDICE DE MORTALIDADE DAS PLANTAS (%)							
		VERÃO				INVERNO			
		I	II	III	MÉDIA	I	II	III	MÉDIA
0 %	0N	0	0	0	0	0	0	0	0
	1N	100	100	0	66	100	100	25	75
	2N	100	100	100	100	100	100	100	100
	3N	100	100	100	100	100	100	100	100
30 %	0N	0	0	0	0	0	0	0	0
	1N	0	100	100	66	25	100	100	75
	2N	100	100	100	100	100	100	100	100
	3N	100	100	100	100	100	100	100	100
50 %	0N	0	0	0	0	0	0	0	0
	1N	0	0	0	0	0	0	0	0
	2N	0	100	100	66	25	100	100	75
	3N	100	100	100	100	100	100	100	100
70 %	0N	0	0	0	0	0	0	0	0
	1N	0	0	0	0	0	0	0	0
	2N	0	0	0	0	25	25	25	25
	3N	100	100	100	100	100	100	100	100

No tratamento com adição de uma dose de nitrogênio (1N), apenas os tratamentos com sombreamento de 50% e 70% não apresentaram mortalidade de plantas. Nas condições de 30% e de 0% de sombreamento de plantas, ocorreu a mortalidade integral em um bloco para cada tratamento, provavelmente em função do posicionamento na área experimental, da infra-estrutura edificada e da orientação geográfica para a radiação solar. COELHO (2000) também obteve menor taxa de sobrevivência de plantas sob pleno sol, em experimento com sombreamento de erva-mate.

Nos tratamentos com aplicação de duas (2N) e três dosagens (3N) de adubo nitrogenado ocorreu a mortalidade de 100% das plantas, submetidos às condições de 30% e de 0% de sombreamento, em todos os blocos experimentais. No tratamento com 50% de sombreamento ocorreu a mortalidade integral em dois blocos, verificando-se a não ocorrência de mortalidade no bloco sem radiação solar direta no período das 9:00 horas, ou seja, na posição mais a oeste do experimento. Na condição de 70% de sombreamento, as plantas de erva-mate não apresentaram mortalidade em função da adição de adubo nitrogenado.

Corroborando com relato de ESPINDOLA JUNIOR (2004), possivelmente a associação do nitrogênio à alta luminosidade gerou uma condição estressante para o desenvolvimento da planta.

b) Leitura de Inverno (após 210 dias da adição de nitrogênio)

Na análise dos resultados obtidos na estação climática de inverno, aos 8 meses de condição de campo das plantas de erva-mate, verificou-se a ocorrência adicional na mortalidade de plantas. Basicamente foram decorrentes do efeito retardado da adição de adubo nitrogenado, com plantas estressadas e sensíveis, associado a ocorrência de geadas e dias com vento frio, no início da estação de inverno.

Nas condições de sub-tratamentos com duas dosagens de adubação nitrogenada (2N) submetidas a 30% e 0% de sombreamento, ocorreu mortalidade de plantas de erva-mate nos blocos experimentais que não apresentaram o fenômeno durante a estação de verão. Da mesma forma ocorreu no tratamento com 50% de sombreamento, havendo mortalidade de plantas no bloco que não apresentou o fenômeno após a aplicação do adubo nitrogenado. Por outro lado, nas condições com 70% de sombreamento, verificou-se a mortalidade parcial em todos os blocos do experimento.

Em decorrência, verificou-se que à proporção em que se amplia a luminosidade ambiental, associada a adição de adubação nitrogenada de forma crescente, obteve-se índices de mortalidade das plantas de erva-mate diretamente proporcionais.

A análise estatística dos dados coletados para o índice de mortalidade de plantas, demonstrados na TABELA 24 (ANEXO), foi desenvolvida pelo Teste de Duncan. Os valores apresentados pelo sombreamento (fator A) e dosagem de nitrogênio (fator B) são altamente significativos estatisticamente, embora possuam menor representatividade quando da sua interação.

Por outro lado, a média de mortalidade das plantas em função do grau de luminosidade ambiental (TABELA 6) demonstra que os tratamentos com 0% e 30% de sombreamento apresentam condições similares entre si, embora tenham valores diferentes dos tratamentos com 50% e 70% de sombreamento. Os índices de mortalidade de plantas são inversamente proporcionais ao grau de sombreamento ambiental estabelecido, verificando-se uma diferença de 90% de mortalidade entre plantas a pleno sol e com 70% de sombreamento. No gráfico da FIGURA 13 observa-se a variação da mortalidade de plantas por grau de luminosidade estabelecidas nas parcelas.

TABELA 6 – Média de mortalidades das plantas de erva-mate em função dos diferentes graus de luminosidade ambiental e dos tipos de adubação nitrogenada.

TRATAMENTO	MORTALIDADE DE PLANTAS	
	MÉDIA GERAL	%
0 %	7,875 a	50 %
30 %	7,875 a	50 %
50 %	5,375 b	75 %
70 %	4,125 b	100 %

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Em relação à dosagem de adubo nitrogenado aplicado nas plantas de erva-mate (fator B), também se verificaram resultados altamente significativos estatisticamente. Da mesma forma, a interação dos fatores A e B demonstrada na TABELA 24 (ANEXO) foi altamente significativa, seja pela luminosidade incidente sobre as plantas seja pelas dosagens de adubo aplicadas.

A ANOVA pela análise de variância das médias de mortalidade das plantas de erva-mate apresentou diferenças estatisticamente significativas (Teste F com 95% de significância) nas medições de verão e de inverno relativas aos tipos de sombreamento (fator A) e a estação climática (fator B). Por outro lado, os dados apresentaram pouca significância em relação à dosagem de nitrogênio aplicado (fator C) e para as correlações AB, AC, BC e ABC.

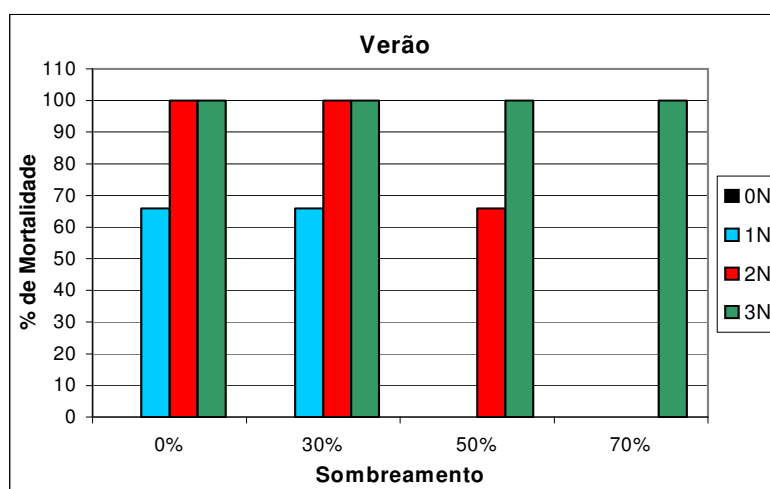


FIGURA 13 – Comparativo da variação de mortalidade nas plantas de erva-mate, submetidas a dosagens de adubação nitrogenada (0N, 1N, 2N, 3N), no verão após 45 dias, sob diferentes graus de luminosidade ambiental.

4.2.2. Altura das Plantas

Dentre as medições de campo relativas ao crescimento em altura das plantas, efetuadas em oito condições climáticas de monitoramento, foram selecionados os dados referentes às quatro estações climáticas típicas (verão, outono, inverno e primavera), desenvolvendo-se a análise comparativa entre as médias de tratamentos sem e com adubação nitrogenada (TABELA 7).

A altura das plantas é um parâmetro característico de avaliação das respostas de crescimento à intensidade luminosa, visto que a capacidade de crescer na sombra é um mecanismo relevante de adaptação das plantas (ENGEL, 1989), sendo importante para a erva-mate. Em decorrência do desfolhamento ocorrido nas plantas de erva-mate no período de outono-inverno, seguido de recuperação da área foliar na primavera, a altura média das plantas nos tratamentos de sombreamento com 0%, 30% e 50% praticamente ficou inalterado por um período de nove meses.

A adição de nitrogênio na fase inicial de desenvolvimento das plantas, no meio da estação de verão, acarretou prejuízos ao desenvolvimento da erva-mate, quer pela redução do crescimento vegetativo, quer pelo desfolhamento parcial das plantas, em especial devido à antecipação do processo de maturação foliar.

TABELA 7 - Altura média por planta de erva-mate, com e sem adição de nitrogênio, em quatro estações climáticas, sob graus de sombreamento diferenciado.

TRATAMENTO	GRAU DE SOMBRA	ALTURA MÉDIA POR PLANTA (cm)			
		VERÃO	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA
SEM NITROGÊNIO (0N)	0 %	10	44	44	49
	30 %	10	39	37	41
	50 %	10	40	40	43
	70 %	10	44	46	47
	MÉDIA	10	42	42	45
COM NITROGÊNIO (1N)	0 %	10	44	43	38
	30 %	10	40	42	38
	50 %	10	36	37	42
	70 %	10	40	42	47
	MÉDIA	10	40	41	42

Verificou-se que os dados de altura média das plantas de erva-mate, bem como, as alturas máximas e mínimas, foram todas iguais na estação do verão, tendo em vista que estavam priorizando o desenvolvimento radicular, sem crescimento relevante em altura. Os

dados levantados no inverno (TABELA 8) apresentam uma diferenciação de alturas nas plantas, de acordo com o grau de luminosidade.

Apesar da mortalidade de plantas ocorrida nos sub-tratamentos com adubação da erva-mate, os resultados médios mais significativos ocorreram em condições de máximo sombreamento das parcelas, conforme demonstra a TABELA 25 (ANEXO).

A adição de adubo nitrogenado não apresentou ganho em crescimento do fator altura das plantas para justificar essa prática agrônômica, especialmente em dosagens elevadas como utilizado neste experimento e observado durante as leituras de inverno. Esses resultados são similares aos de PAIVA *et al.* (2003) quando analisaram em plantas de cafeeiro *Coffea arábica* obtendo os melhores resultados com 50% de sombreamento.

As plantas sem adição de adubo nitrogenado apresentaram crescimento em altura de forma superior àquelas com adubação nitrogenada, nos tratamentos com 50% e 70% de sombreamento em todas as estações climáticas monitoradas. Por sua vez, nos tratamentos com 0% e 30% de sombra, os resultados foram equivalentes entre sem e com adubação. A adição de adubo nitrogenado acarretou o desfolhamento e queima dos brotos terminais das plantas de erva-mate.

TABELA 8 – Alturas médias das plantas de erva-mate submetidas a diferentes graus de luminosidade ambiental, verificada no inverno.

TRATAMENTO	ALTURA DAS PLANTAS (cm)		
	MÉDIA DAS MÉDIAS	MEDIA DAS MAXIMAS	MEDIA DAS MINIMAS
70	44.0 a	55,0	32,0
50	38.5 b	47,5	29,5
30	37,5 b	47,5	27,0
00	42.0 c	51,0	35,0

C.V. de 38.60%.

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Observou-se que as médias das alturas máximas foram aproximadamente 25% maiores que as alturas médias das plantas em todas as condições experimentais, de dosagens de adubo nitrogenado e de luminosidade ambiental, no decorrer das estações climáticas. Por sua vez, as médias das alturas mínimas das plantas foram aproximadamente 25% menores que as alturas médias das plantas de erva-mate.

No gráfico da FIGURA 14 demonstra-se a variação das alturas médias das plantas

de erva-mate, por grau de luminosidade estabelecidas nas parcelas, comparando os dados dos tratamentos sem e com adição de adubação nitrogenada nas quatro estações climáticas.

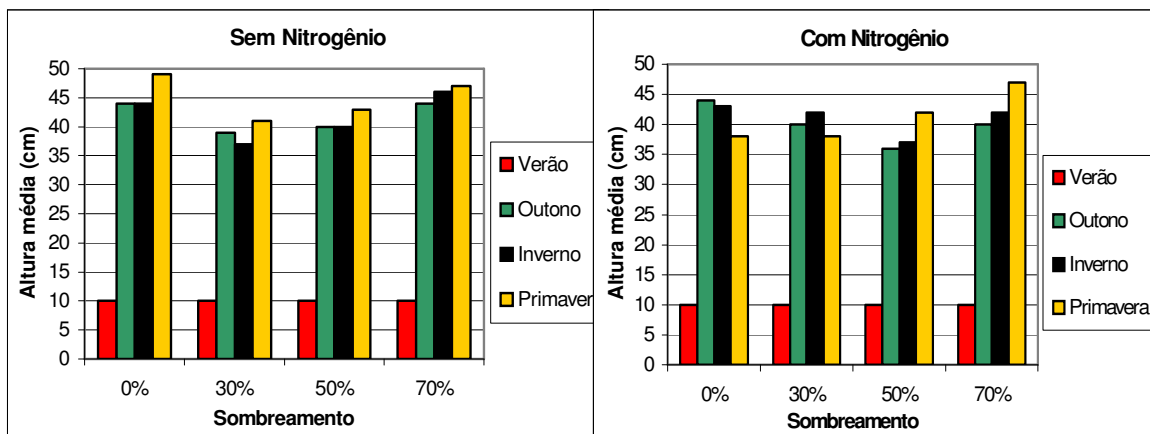


FIGURA 14 - Comparativo da variação de alturas médias das plantas de erva-mate, submetidas a diferentes graus de luminosidade ambiental, sem e com adição de adubação nitrogenada (0N e 1N).

4.2.3. Biomassa das Plantas

A relação entre peso médio úmido e peso médio seco da biomassa foliar de cada planta foi de 3:1 no verão, enquanto no inverno foi de 3:1 apenas no tratamento com 0% de sombra, sendo de 2,5:1 em todos os três tratamentos com sombreamento, demonstrando maior peso das folhas. Essa observação é coincidente com os resultados de NAKAZONO *et al.* (2001), desenvolvidos em trabalho sobre o crescimento do palmito *Euterpe edulis* Mart., onde ocorreu a redução de biomassa seca.

Por sua vez, a relação entre peso médio úmido e peso médio seco da biomassa radicular foi de 5:1 no verão em todos os tratamentos, enquanto que no inverno foi de 9:1 nos tratamentos com 0% e 30% de sombra e de 10:1 nos tratamentos com 50% e 70% de sombra. Através da análise visual das plantas, confirmou-se a observação de uma maior atividade radicular pelas plantas nas condições de sombra, fato comprovado na relação de pesos correspondentes. Esses dados coincidem com os resultados encontrados para o palmito *Euterpe edulis* Mart. no tocante à variação na quantidade de luz, mostrando que as plantas diferem na sua resposta à variação da luminosidade ambiental, dependendo do nível de luz a que estão submetidas (NAKAZONO *et al.*, 2001).

4.2.3.1. Peso da Biomassa Foliar

Os resultados relativos ao peso úmido das folhas demonstraram que ocorreu um expressivo incremento em todos os tratamentos, próximo de 100% no aumento do peso, embora prejudicado pelo elevado teor de água no material. As plantas submetidas ao sombreamento apresentaram peso superior às plantas submetidas a 0% de sombra.

Por outro lado, na correlação do peso seco da massa foliar verificou-se um maior incremento efetivo nas condições de maior sombreamento, em especial a 30% e 50% de redução da luminosidade ambiental, comprovando o efetivo crescimento foliar (TABELA 9).

No caso do peso seco das folhas de erva-mate, aspecto de alto interesse industrial, verificou-se um incremento de peso muito superior ao verificado no sistema radicular das mesmas plantas, cujos parâmetros são similares aos resultados obtidos nos desenvolvidos por NAKAZONO *et al* (2000).

TABELA 9 - Peso médio da biomassa foliar por planta de erva-mate em função da aplicação de adubo nitrogenado e do grau de sombreamento, nas condições climáticas de verão e de inverno.

GRAU DE SOMBRA	DOSAGENS DE NITROGENIO	PESO MÉDIO DA BIOMASSA FOLIAR (g)			
		VERÃO		INVERNO	
		ÚMIDO	SECO	ÚMIDO	SECO
0 %	0N	14,6	5,2	28,7	9,5
	1N	14,4	5,0	24,1	8,4
	2N	16,7	5,7	21,0	7,6
	3N	14,0	5,5	-	-
	MÉDIA	14,9	5,3	24,6	8,5
30 %	0N	16,4	5,7	19,9	7,8
	1N	13,5	4,8	17,6	5,9
	2N	15,9	5,6	18,8	7,4
	3N	14,8	5,1	-	-
	MÉDIA	15,1	5,3	18,7	7,0
50 %	0N	13,5	5,1	24,7	10,4
	1N	12,9	4,8	20,2	7,7
	2N	16,7	6,6	-	-
	3N	12,9	4,7	-	-
	MÉDIA	14,0	5,3	22,4	9,0
70 %	0N	12,9	4,7	26,2	10,1
	1N	11,8	4,5	17,2	6,2
	2N	14,1	5,8	-	-
	3N	15,4	6,4	-	-
	MÉDIA	13,5	5,3	21,7	8,1

A análise estatística dos dados coletados no verão e no inverno, como contraste climático sobre os parâmetros de crescimento das plantas, conforme TABELA 26 (ANEXO), foi desenvolvida pelo Teste de Duncan.

A análise de variância para os dados do peso das folhas no inverno, aos 9 meses de campo, mostrou que o valor de F calculado para o fator tratamento foi superior ao valor de F tabelado.

Embora não haja diferença estatística significativa entre os dados para os tratamentos testados (TABELA 10), a análise das médias mostra uma tendência de maior peso das folhas para os tratamentos com menor luminosidade, conforme apontado na coluna de percentagem.

Apesar de não haver diferença estatística entre os dados analisados, em termos práticos da agricultura, uma variação de 20% na produção foliar é altamente representativa, comparando o peso de folhas com sombreamento de 70% frente o peso de folhas a pleno sol, ou então, em condições sem sombreamento.

TABELA 10 – Diferenças na média do peso úmido das folhas de erva-mate por planta para diferentes tratamentos de sombreamento.

TRATAMENTO	PESO FOLIAR (g)	%
70	28,2 a	120,00
50	25,1 a	106,80
30	24,0 a	102,13
00	23,5 a	100,00

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

a) Peso Úmido das Folhas

A análise estatística dos dados coletados sobre os valores de peso úmido das folhas, analisados de forma comparativa nas 4 estações climáticas, conforme TABELA 27 (ANEXO), foi desenvolvida pelo Teste de Duncan.

Quando observado o valor de F calculado para o fator A (estações climáticas), os resultados foram altamente significativos, embora em relação ao fator B (grau de sombreamento) e à correlação AB, os resultados não tenham sido significativos.

b) Peso Seco das Folhas

A análise estatística dos dados coletados sobre os valores de peso das folhas verde, analisados de forma comparativa nas 4 estações climáticas, conforme TABELA 28 (ANEXO), foi desenvolvida pelo Teste de Duncan.

Quando observado o valor de F calculado para o fator A (estações climáticas), os resultados foram altamente significativos, embora em relação ao fator B (grau de sombreamento) e à correlação AB, os resultados não tenham sido significativos.

O gráfico da FIGURA 15 demonstra, em termos visuais, a variação de peso médio das folhas por tipo de sombreamento, indicando por época de maturação e colheita de erva-mate, os valores comparativos obtidos nas condições de verão e de inverno.

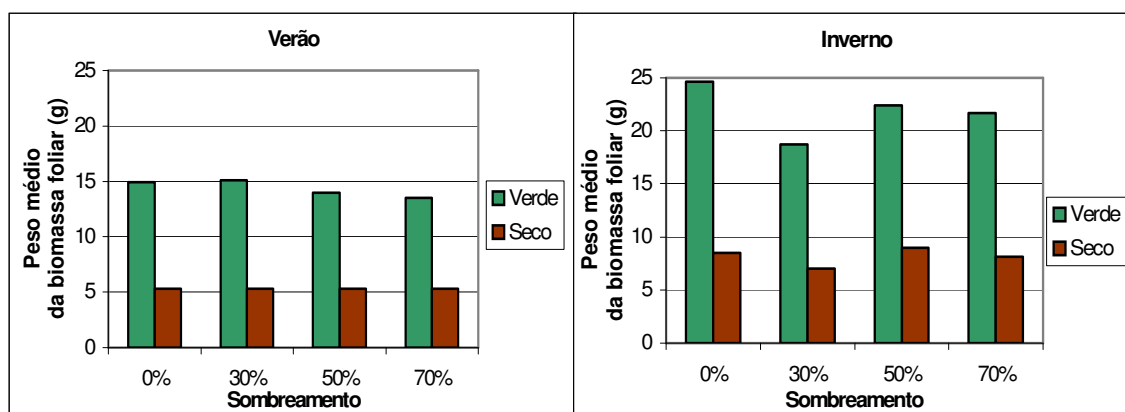


FIGURA 15 – Comparativo da variação de peso médio das folhas de erva-mate, no verão e no inverno, como biomassa verde e biomassa seca.

4.2.3.2. Peso da Biomassa Radicular

A obtenção dos dados referentes ao peso das raízes das plantas de erva-mate foi obtida a partir do material úmido ou recém-coletado e na condição do mesmo material seco em estufa no laboratório (TABELA 11).

A correlação do peso úmido da massa radicular no verão e no inverno demonstrou um expressivo incremento em todos os tratamentos (ao redor de 100%), embora pouco representativo na forma de peso seco, devido ao elevado teor de água no material, demonstrado pela relação à base de 5:1. Por sua vez, no inverno a relação de peso

úmido para peso seco foi muito mais expressiva, face uma relação de 9:1 nos tratamentos de 0% e 30% de sombreamento e de 10:1 nos tratamentos de 50% e 70% de sombreamento. Esses dados comprovam a intensa atividade radicular quando comparada com a relativa estagnação no crescimento da parte aérea das plantas.

Por outro lado, a correlação do peso seco de raízes verificou-se um maior incremento efetivo nas condições de maior sombreamento, em especial a 70%, denotando o efetivo crescimento radicular, com resultados similares aos trabalhos desenvolvidos por NAKAZONO *et al* (2000).

A análise de variância para os dados de peso de raiz da planta de erva-mate, considerando como fatores de variação, às estações do ano (parcela) e ao material de cobertura (sub-parcela), mostra que o valor de F calculado foi altamente significativo para o fator estações do ano, conforme TABELA 29 (ANEXO). Além disso, os demais valores de F, para repetições, material de cobertura e interação, não foram significativos.

TABELA 11 - Peso médio da biomassa radicular por planta de erva-mate decorrente de adubo nitrogenado e grau de sombreamento, verificado nas condições climáticas de verão e de inverno.

GRAU DE SOMBRA	DOSAGENS DE NITROGENIO	PESO MÉDIO DA BIOMASSA RADICULAR (g)			
		VERÃO		INVERNO	
		ÚMIDO	SECO	ÚMIDO	SECO
0 %	0N	10,6	2,1	27,1	4,0
	1N	9,1	1,9	14,6	1,7
	2N	10,7	2,3	17,8	1,9
	3N	9,7	2,1	-	-
	MÉDIA	10,0	2,1	19,8	2,5
30 %	0N	10,9	1,9	21,0	2,7
	1N	8,5	1,7	13,5	1,2
	2N	9,1	1,6	19,4	1,6
	3N	8,3	1,8	-	-
	MÉDIA	9,2	1,8	17,9	1,8
50 %	0N	9,9	2,3	22,0	2,0
	1N	11,0	2,2	20,7	2,6
	2N	10,7	2,3	-	-
	3N	10,2	2,1	-	-
	MÉDIA	10,4	2,2	21,3	2,3
70 %	0N	7,9	1,6	23,0	2,6
	1N	7,3	1,6	15,5	1,3
	2N	8,7	1,6	-	-
	3N	12,3	2,9	-	-
	MÉDIA	9,0	1,9	19,2	1,9

Por outro lado, os dados apresentados na TABELA 12 indicam a diferença entre os

valores de peso médio das raízes para cada estação climática. Os indicadores percentuais são bastante representativos

TABELA 12 – Diferenças na média do peso seco das raízes de erva-mate por planta para as diferentes estações climáticas.

TRATAMENTO	PESO DA RAIZ (g)		%
Verão	2,0	a	100,00
Outono	2,8	b	129,30
Inverno	5,4	bc	270,00
Primavera	18,4	c	920,00

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

a) Peso da Massa Úmida das Raízes

A análise estatística dos dados coletados sobre os valores de peso úmido das raízes, analisados de forma comparativa nas 4 estações climáticas, conforme TABELA 29 (ANEXO), foi desenvolvida pelo Teste de Duncan.

Quando observado o valor de F calculado para o fator A (estações climáticas), os resultados foram altamente significativos, embora em relação ao fator B (sombreamento) e à correlação AB, os resultados não tenham sido significativos.

b) Peso da Massa Seca das Raízes

A análise estatística dos dados coletados sobre os valores de peso seco das raízes, analisados de forma comparativa nas 4 estações climáticas, conforme TABELA 30 (ANEXO), foi desenvolvida pelo Teste de Duncan.

Quando observado o valor de F calculado para estações climáticas (fator A), os resultados foram altamente significativos, embora em relação ao sombreamento (fator B) e à interação AB, os resultados não tenham sido significativos estatisticamente.

4.2.4. Incidência de Pragas e Doenças

Embora houvesse a expectativa, não ocorreram problemas com pragas sazonais nas plantas de erva-mate, donde não terem sido adotadas medidas especiais.

A ocorrência de pragas restringiu-se basicamente à presença pouco significativa da ampola-da-erva-mate (*Gyropsylla spegazziniana*) em todas as parcelas (durante os meses de verão), não atingindo a maioria das plantas. Por isso, não foi adotado tratamento específico. Os danos causados nas plantas atacadas ocorreu nas folhas superiores e em alguns brotos terminais, acarretando retardamento no desenvolvimento das plantas.

Adicionalmente, ocorreu a presença de duas espécies de lagartas-da-folha (*Sibine nezea* e *Sibine barbara*), embora com ocorrência pontual, tendo sido eliminadas mediante catação manual.

No decorrer do período chuvoso da primavera, houve uma pequena incidência de manchas foliares (*Asterina mate*), especialmente nos tratamentos de 70% de sombreamento. Contudo, não houve necessidade de medida fitossanitária específica para a doença nas plantas de erva-mate.

4.3. Efeito da Variação de Luminosidade

O microclima e, em especial, a luminosidade, são fatores determinantes das características de alteração da área foliar e da fitomassa nos cultivos de erva-mate, constituindo em parâmetros analisados pela pesquisa, sendo obtidos parâmetros de forma concordante aos referidos por FERREIRA *et al.* (1994) e VIEIRA *et al.* (2003).

4.3.1. Altura das Plantas de Erva-Mate

A quantidade de luz presente ao nível do solo, em plantios de erva-mate submetidos a condições de sombreamento, permite estabelecer o incremento da produtividade de biomassa quando comparada aos plantios desenvolvidos a pleno sol. As medições de campo relativas ao crescimento em altura das plantas são coincidentes com as observações desenvolvidas em espécies florestais por POPMA & BONGERS (1991), e e, palmito *Euterpe edulis* Mart. por NAKAZONO *et al* (2000), preconizando maiores incrementos em altura das plantas em condições ambientais com sombreamento.

Os maiores valores de altura das plantas de erva-mate foram verificados nas condições crescentes dos graus de sombreamento, tendendo à redução de altura frente o aumento da intensidade luminosa, de forma a serem resultados similares às observações

experimentais verificadas por KASPARY (1985) e GLIESMANN (2000).

4.3.2. Peso da Biomassa Total das Plantas

Segundo LAVENDER (1984), as plantas de crescimento vegetativo com maior disponibilidade de água e nutrientes, em local sombreado, apresentam maior taxa de crescimento da parte aérea e do sistema radicular em relação às plantas desenvolvidas a pleno sol. Essa assertiva foi confirmada no experimento com a erva-mate nos parâmetros referentes à biomassa total das plantas.

a) Peso da Biomassa Foliar

A produção de matéria seca constitui no melhor índice de avaliação do crescimento das plantas (LOGAN, 1969), para tanto, foi utilizado para avaliar as condições de produtividade requeridas pela erva-mate visando identificar os melhores índices de produção de biomassa foliar, de forma relativamente simples. Segundo ENGEL (1989), a produção de matéria seca permite avaliar o crescimento de uma planta, fato comprovado pelos indicadores específicos de biomassa foliar.

Com relação à fitomassa úmida observaram-se variações entre os tratamentos, essencialmente em função dos níveis de luz. O sombreamento parcial das plantas propiciou maior produtividade, de biomassa foliar, coincidindo com os resultados de PEZZOPANE e ORTOLANI (2001).

Sob condições de sombreamento, as plantas de erva-mate apresentaram os maiores valores no peso da biomassa foliar, enquanto sob o aumento da intensidade luminosa, tendem a menor produção, resultados que confirmam as observações de KASPARY (1985) e GLIESMANN (2000).

Corroborando com os resultados de FELFILI *et al.* (1989), os dados referentes a peso úmido e peso seco da biomassa foliar e radicular, confirmam a tendência para um aumento na produção de biomassa na parte aérea em detrimento do sistema radicular, à proporção que a luminosidade se torna menos disponível. Contudo, apresenta um comportamento oposto quando ocorre o incremento da luminosidade ambiental, com redução da produção de biomassa na parte aérea e favorecimento do sistema radicular.

b) Peso da Biomassa Radicular

As plantas de erva-mate em condições de sombreamento apresentaram peso da biomassa radicular com valores superiores, tendendo à redução, quando do aumento da intensidade luminosa, sendo esses resultados coincidentes com as observações de KASPARY (1985) e GLIESMAMMN (2000).

Os dados referentes a peso úmido e peso seco da biomassa radicular das plantas de erva-mate, confirmaram as observações de FELFILI *et al.* (1989), apresentando uma tendência para a diminuição na produção de biomassa radicular e de aumento na produção do sistema foliar, à proporção que a luminosidade se torna menos disponível. Contudo, apresenta comportamento oposto, com redução da produção de biomassa na parte aérea e favorecimento do sistema radicular quando do incremento da luminosidade ambiental.

4.3.3. Desenvolvimento da Parte Aérea

A análise dos dados referentes às diversas leituras de monitoramento efetuadas no decorrer das estações climáticas, envolvendo o diâmetro basal de caule, número de ramos em cada planta e o total de folhas de erva-mate, analisando o comprimento total, área da superfície foliar e a espessura média das folhas por planta, permitiram inferir definições sobre o efeito dos tipos de tratamento de sombra no desenvolvimento vegetativo.

4.3.3.1. Diâmetro Basal do Caule da Erva-Mate

Das medições de campo, efetuadas nas 8 condições climáticas de monitoramento, foram selecionados os dados de diâmetro do caule correspondentes às estações climáticas típicas (meses de dezembro, abril, julho e outubro), comparando-se com a influência da adição de nitrogênio na fase inicial de crescimento das plantas (TABELA 13).

O diâmetro de colo é um indicativo de assimilação líquida pelas plantas sendo dependente da fotossíntese (ENGEL, 1989). Quanto menor for o grau de sombreamento ambiental tanto inversamente proporcional será o diâmetro do caule das plantas, correspondendo a reação fisiológica de resistência às condições menos favoráveis (radiação solar intensa, temperatura elevada junto ao solo e menor umidade relativa do ar).

O elevado incremento do diâmetro dos caules das plantas de erva-mate ocorreu

nos meses iniciais de campo, especialmente nos meses do período de verão-outono, referentes ao maior desenvolvimento vegetal quando atingiu incrementos próximos à 400%. Esses resultados são similares aos obtidos por MURRAY & NICHOLS (1966), citados por ENGEL (1989), quando trabalhou com mudas de cacau *Theobroma cacao* obtendo os maiores diâmetros de plantas em sombreamentos de 50% e 70%.

TABELA 13 - Desenvolvimento do diâmetro médio de caule por planta de erva-mate, em quatro estações climáticas, com e sem adição de nitrogênio, submetidas a tratamentos de sombreamento.

TRATAMENTO	GRAU DE SOMBRA	DIÂMETRO MÉDIO DO CAULE (mm)			
		VERÃO	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA
SEM NITROGÊNIO (0N)	0 %	2	10	10	13
	30 %	2	9	10	12
	50 %	2	9	10	12
	70 %	2	10	10	11
	MÉDIA	2	10	10	12
COM NITROGÊNIO (1N)	0 %	2	9	11	11
	30 %	2	10	10	13
	50 %	2	9	10	11
	70 %	2	9	9	11
	MÉDIA	2	9	10	11

Verificou-se que a adição de nitrogênio na fase inicial de desenvolvimento das plantas, no meio da estação de verão, não favoreceu ao desenvolvimento das mesmas, aspecto que pode ser verificado pelo valor médio do diâmetro de caule, na região de colo, que é inferior nas plantas adubadas em comparação àquelas sem adubação, na maioria dos tratamentos de outono e primavera.

A análise estatística dos dados sobre os valores de diâmetro médio do caule basal das plantas de erva-mate, efetuada de forma comparativa entre as estações climáticas de verão e inverno, conforme TABELA 28 (ANEXO), foi desenvolvida pelo Teste de Duncan.

A ANOVA indicou que não houve diferenças estatisticamente significativas (Teste F com 95% de significância) nas medições de verão relativas aos tipos de material de sombreamento (A), contudo nas medições de inverno ocorreu uma situação inversamente proporcional. Por outro lado, em relação a dosagem de nitrogênio (fator B), a ANOVA apresentou resultados estatisticamente significativos (Teste F com 95% de significância). De forma similar, as interações AB apresentaram significância estatística, revelando que a adição de nitrogênio, em dosagens adequadas, favoreceu ao desenvolvimento do caule das plantas, especialmente nas condições de maior luminosidade.

4.3.3.2. Ramificação da Planta

Dentre as medições de campo efetuadas, foram selecionados os dados referentes a quantificação de ramos correspondentes às estações climáticas dos meses de verão e de inverno, comparando-os com a influência da adição de nitrogênio efetuada na fase inicial de crescimento das plantas (TABELA 14).

Verificou-se que a adição de nitrogênio na fase inicial de desenvolvimento das plantas, no meio da estação de verão, favoreceu ao desenvolvimento dos novos ramos, em resposta aos problemas ambientais ocorridos. A ramificação basal e de ápice das plantas foram decorrentes de aspectos ambientais adversos – aquecimento solar excessivo junto a base do caule, baixa umidade relativa do ar.

TABELA 14 - Média de ramos por planta e tipo de sombreamento das parcelas de erva-mate, em quatro estações climáticas, com e sem adição de nitrogênio.

TRATAMENTO	GRAU DE SOMBRA	RAMOS POR PLANTA (n°)			
		VERÃO	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA
SEM NITROGÊNIO (0N)	0 %	1	5	5	9
	30 %	1	4	4	7
	50 %	1	4	4	5
	70 %	1	5	4	5
	MÉDIA	1	5	4	7
COM NITROGÊNIO (1N)	0 %	1	6	6	7
	30 %	1	7	8	6
	50 %	1	5	5	9
	70 %	1	6	5	5
	MÉDIA	1	6	6	7

Por outro lado, observou-se uma tendência de ocorrer maior ramificação nas plantas proporcionalmente ao aumento do grau de luminosidade ambiental, notadamente após o período de estagnação no crescimento vegetativo na estação de inverno. Da mesma forma, ocorreu uma maior ramificação nas plantas que receberam adubação nitrogenada comparativamente com aquelas não adubadas.

A análise estatística dos dados coletados no verão e no inverno, visando estabelecer um contraste climático sobre o parâmetro de ramificação das plantas de erva-mate, conforme TABELA 29 (ANEXO), foi desenvolvida pelo Teste de Duncan.

Pela análise de variância do total de ramos nas plantas, a ANOVA indicou que não

houve diferenças estatisticamente significativas (Teste F com 95% de significância) nas medições de verão e de inverno relativas aos tipos de material de sombreamento (fator A).

Por outro lado, em relação a dosagem de nitrogênio (fator B), tanto no verão como no inverno, a ANOVA apresentou resultados estatisticamente significativos (Teste F com 99% de significância). Contudo, no caso da interação AB ocorreu situação diferenciada entre as duas estações climáticas, havendo significância estatística apenas nos dados referentes à estação de inverno.

4.3.3.3. Área Total da Superfície Foliar

O Programa WinRhizo demonstrou que os dados médios foram maiores nas condições de maior sombreamento, de uma forma geral diminuindo à medida que aumentava o grau de insolação e luminosidade.

Como a área foliar é uma característica para se analisar a tolerância à sombra das diferentes espécies de plantas, devido sua correlação direta com a área da superfície fotossintetizante útil (ENGEL, 1989), os dados de aumento da área foliar decorrentes dos tipos de sombreamento demonstraram a veracidade dessa afirmação.

Nas condições de primavera, observou-se que os dados referentes aos sombreamentos de 50% e 70% representaram as melhores condições ambientais para incremento da produtividade de biomassa foliar (TABELA 15). Esses resultados confirmaram as observações de aumento da área foliar de plantas quando submetidas a sombreamento, efetuadas por BLACKMAN & WILSON (1951), FERREIRA (1977), ENGEL (1989) e PAIVA *et al.* (2003).

Considerando que o valor de F calculado para o Fator A é igual ao valor de F tabelado (5%), pode-se afirmar que a área foliar foi influenciada pela estação em que foi feita a leitura. Fato óbvio considerando as variações sazonais de luminosidade e temperatura e os efeitos sobre a planta de erva-mate. São apresentadas na TABELA 16, as médias obtidas para cada estação climática, comparadas pelo Teste de Duncan.

Os dados mostram que a média da área foliar das plantas no verão é estatisticamente equivalente às do outono e inverno, apesar do incremento no crescimento de cerca de 36%. Estes dados refletem o comportamento da planta, com menor crescimento nos

períodos de menor temperatura e luminosidade, referidas por MAZUCHOWSKI (1991).

A TABELA 30 (ANEXO) apresenta a análise estatística dos dados pelo Teste de Duncan, embasados nas mensurações foliares durante as quatro estações climáticas.

TABELA 15 - Parâmetros médios de desenvolvimento da parte aérea total em plantas de erva-mate, verificados através do programa Winrhizo.

PARAMETROS MÉDIOS POR PLANTA	GRAU DE SOMBRA	PERÍODO DE ANÁLISE			
		VERÃO	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA
COMPRIMENTO TOTAL DAS FOLHAS (cm)	0 %	247,17	447,85	325,82	605,57
	30 %	257,66	455,56	413,62	412,47
	50 %	292,60	325,82	354,51	562,83
	70 %	275,18	413,62	309,04	552,06
	MÉDIA	268,15	410,71	350,75	533,24
ÁREA TOTAL DA SUPERFÍCIE FOLIAR (cm ²)	0 %	1.071,95	1.756,90	1.396,79	2.143,17
	30 %	1.154,67	1.714,49	1.935,60	1.554,34
	50 %	1.359,45	1.396,79	1.693,35	2.208,05
	70 %	1.403,96	1.935,60	1.577,43	2.366,30
	MÉDIA	1.247,51	1.701,00	1.650,80	2.068,00
ESPESSURA MÉDIA DO TOTAL DE FOLHAS (mm)	0 %	13,96	20,76	18,35	22,80
	30 %	14,44	20,36	26,76	14,12
	50 %	15,04	18,35	21,39	25,24
	70 %	16,37	26,76	19,78	26,40
	MÉDIA	14,96	21,56	21,57	22,14

Com a chegada da primavera e o conseqüente aumento da temperatura e luminosidade, as plantas voltaram a ter crescimento em área foliar, como demonstra a média estatisticamente diferente dos dados de verão. Em um ano, ocorreu um aumento de 65,77% na área foliar total, referendando as observações de FERREIRA *et al.* (1977), relativas a constituir um índice de produtividade decorrente da produção biológica.

TABELA 16 - Variação No incremento da média da área foliar total por planta de erva-mate nas diferentes estações climáticas.

PERÍODO	ÁREA FOLIAR TOTAL (mm ²)	INCREMENTO %
Primavera	2067,96 a	165,77
Inverno	1701,01 ab	136,35
Outono	1698,28 ab	136,14
Verão	1247,50 b	100,00

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Fato interessante na análise de variância é relativo à observação do valor de F calculado para o fator B, que mostra que não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos analisados conforme a TABELA 31 (ANEXO). Em decorrência, a área

foliar não foi afetada pela variação da luminosidade, considerando os 12 primeiros meses após o plantio, apesar da queda foliar ocorrida no decorrer do inverno.

Pelos valores das médias observa-se uma tendência de maior área foliar para plantas em condições de menor luminosidade (FIGURA 16), situação verificada por KASPARY (1985) e observada nas plantas de erva-mate por BOEGER *et al.* (2003). A redução de luminosidade ambiental leva a planta a buscar mecanismos de compensação, aumentando sua área foliar.

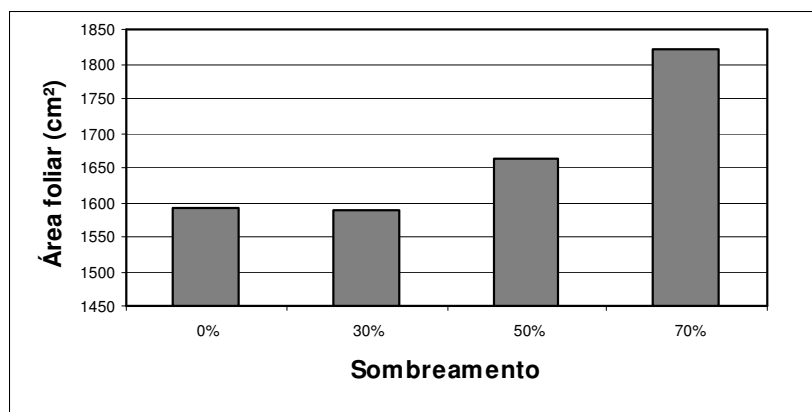


FIGURA 16 – Área foliar média por planta de erva-mate, submetidas a diferentes condições de luminosidade ambiental.

Uma comparação entre as médias de área foliar considerando o aumento da área foliar dos tratamentos com sombreamento em relação ao tratamento a pleno sol, mostra que houve um aumento de 14,4% na área foliar no tratamento com a menor luminosidade. Por sua vez, pela análise de variância verifica-se que não houve influência estatisticamente significativa para a interação entre a estação do ano e a luminosidade.

Observou-se também que os tratamentos sem adição de nitrogênio sempre superaram seus correspondentes nos tratamentos com adição de nitrogênio, fato que sugere uma tendência inibitória deste nutriente para o incremento da área foliar, especialmente quando em dosagens elevadas. As condições de menor intensidade luminosa proporcionaram expansão da área foliar, enquanto nas condições de luz mais intensa, estabeleceu a redução área foliar, parecendo estar relacionado com a diminuição da perda de água por transpiração pelas plantas. Essas conclusões são similares às obtidas por BOEGER & WISNIEWSKI (2002), CAVICHIOLO *et al.* (2003) e ESPÍNDOLA JUNIOR (2004).

4.3.3.4. Espessura das Folhas

Os parâmetros de espessura das folhas de cada planta de erva-mate obtidos com a utilização do programa WinRhizo, forneceram o total existente individualmente. A análise estatística dos dados das mensurações da espessura média das folhas, conforme TABELA 32 (ANEXO), foram coletados no decorrer das quatro estações climáticas e analisados através do Teste de Duncan.

Pela análise de variância do diâmetro das folhas de erva-mate, a ANOVA indicou que houve diferenças estatisticamente significativas (Teste F com 95% de significância) nas medições das quatro séries, seja para os graus de sombreamento (fator B), seja para a correlação AB. Contudo, foi representativo para o fator estação climática (fator A).

Efetuando-se a análise de variância do fator estação climática pelo Teste F com 95% de significância, conforme TABELA 35 (ANEXO), verificaram-se diferenças estatisticamente significativas entre as quatro estações, nas quais outono e inverno embora equivalentes basicamente pela redução do crescimento foliar, apresentaram um incremento na espessura na primavera, comparativamente com as obtidas no verão.

Por outro lado, efetuando a análise comparativa de forma percentual (TABELA 17), agrupando os dados pela média dos tratamentos de sombra, verificou-se que a espessura média das folhas é significativamente superior nos tratamentos com sombreamentos, diminuindo os valores à medida que aumenta a luminosidade ambiental. Na prática confirmou-se a produção de folhas mais espessas sob sombreamento.

TABELA 17 – Variação da espessura média total das folhas por planta de erva-mate, verificadas na média anual de estações climáticas.

TRATAMENTO	ESPESSURA FOLIAR (mm)		%
70%	22.33	a	100,0
50%	20,01	b	89,6
30%	18.92	c	84,7
00%	18.97	c	84,9

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade

4.3.3.5. Número de Folhas por Planta

A produção de biomassa foliar das plantas de erva-mate constitui num dos principais indicadores referentes à produtividade com interesse comercial direto. Nesse sentido, a obtenção do total de folhas foi obtida mediante a contagem de todas as folhas existentes em cada planta, em todas as parcelas, independente do tamanho ou idade. Em decorrência, dentre as medições de campo efetuadas foram selecionados os dados referentes a quantificação de folhas correspondentes às estações climáticas dos meses de dezembro e de julho, comparando-os com a influência da adição de nitrogênio na fase inicial de crescimento das plantas.

A análise estatística dos dados coletados no verão e no inverno, visando estabelecer um contraste climático sobre o parâmetro de crescimento foliar nas plantas, conforme TABELA 18, foi desenvolvida pelo Teste de Duncan.

Pela análise de variância do total de folhas nas plantas, a ANOVA indicou que houve diferenças estatisticamente significativas (Teste F com 95% de significância) nas medições de verão e de inverno relativas aos tipos de sombreamento (fator A). Da mesma forma, verificou-se em relação à estação climática (fator B) e às interações AB, BC e ABC.

TABELA 18 - Quantificação da média de folhas por planta e tipo de sombreamento das parcelas de erva-mate, em quatro estações climáticas, com e sem adição de nitrogênio.

TRATAMENTO	GRAU DE SOMBRA	MÉDIA DE FOLHAS POR PLANTA (nº)			
		VERÃO	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA
SEM NITROGENIO (0N)	0 %	11	50	42	79
	30 %	11	41	36	77
	50 %	12	40	35	48
	70 %	13	41	35	51
	MÉDIA	12	43	37	64
COM NITROGENIO (1N)	0 %	11	46	41	67
	30 %	11	66	61	65
	50 %	11	36	39	68
	70 %	12	46	31	51
	MÉDIA	11	49	43	63

Os dados contidos na TABELA 19 demonstram a variação entre os tratamentos de sombreamento, indicando as diferentes quantidades de folhas por planta em todos em cada tratamento estabelecido, de forma globalizada.

Por outro lado, em relação à dosagem de nitrogênio (fator C), tanto no verão como no inverno, a ANOVA apresentou resultados estatisticamente não significativos (Teste F com 99% de significância), demonstrando a ineficiência da adubação nitrogenada na fase inicial de crescimento das plantas de erva-mate, em seu primeiro ano de campo.

TABELA 19 – Número médio total de folhas por planta de erva-mate e por tipo de sombreamento nas diferentes estações climáticas.

TRATAMENTO	TOTAL DE FOLHAS POR PLANTA	
00 %	64.62	a
30 %	43.46	b
50 %	36.92	bc
70 %	29.87	c

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

4.3.3.6. Comprimento Total das Folhas

A análise estatística dos dados coletados nas mensurações do comprimento das folhas no decorrer das quatro estações climáticas, conforme a TABELA 33 (ANEXO), foi desenvolvida através do Teste de Duncan.

Pela análise de variância das folhas de erva-mate, a ANOVA indicou que não houve diferenças estatisticamente significativas (Teste F com 95% de significância) nas medições das quatro séries, seja para os tipos de material de sombreamento (B), seja para a correlação AB. Contudo, foi representativo para o fator estação climática (A).

Efetuada-se a análise de variância do fator estação climática pelo Teste F com 95% de significância (TABELA 20), verificaram-se as diferenças estatisticamente significativas entre as quatro estações, nas quais outono e inverno são equivalentes, basicamente pela redução do crescimento foliar, mas bastante relevante na primavera perante a de verão.

TABELA 20 – Comprimento médio total das folhas por planta de erva-mate, na forma de material úmido, nas diferentes estações climáticas.

TRATAMENTO	COMPRIMENTO FOLIAR (cm)	VARIAÇÃO (%)	
Primavera	533,23	a	198,86
Outono	410,71	ab	153,15
Inverno	359,20	ab	133,95
Verão	268,15	b	100,00

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

4.3.4. Desenvolvimento do Sistema Radicular

Pela retirada do sistema radicular das plantas de erva-mate, em cada estação climática, visando medição eletrônica pelo programa WinRhizo, conforme demonstrados pela TABELA 21, obtiveram-se indicadores específicos. Verificou-se que os dados médios referentes às dimensões radiculares – comprimento total das raízes, área da superfície das raízes, espessura média das raízes - de uma forma geral tiveram menor desenvolvimento nas condições de maior sombreamento, aumentando à medida que diminui o grau de insolação e luminosidade.

Nas condições da primavera, observou-se que os sombreamentos de 50% e 70% apresentaram os menores índices de desenvolvimento radicular. Quanto maior a insolação incidente, tanto maior o crescimento médio das raízes. Por outro lado, os maiores diâmetros médios das raízes foram verificados nas condições de maior sombreamento, enquanto nas condições de insolação total observaram-se as maiores quantidades de radículas e raízes finas no conjunto dos sistemas radiculares das plantas.

TABELA 21 - Parâmetros médios do sistema radicular da erva-mate, por tipo de sombreamento e estação climática, verificados através do programa WinRhizo

GRAU DE SOMBRA	ESTACÃO CLIMÁTICA	COMPRIMENTO TOTAL DAS RAÍZES (cm)	ÁREA DA SUPERFÍCIE DE RAÍZES (cm ²)	DIÂMETRO MÉDIO DAS RAÍZES (mm)
0 %	VERÃO	1.546,04	295,09	0,656
	OUTONO	4.171,67	1.016,77	1,940
	INVERNO	5.921,89	1.480,14	2,900
	PRIMAVERA	9.973,01	2.769,62	5,045
30 %	VERÃO	1.752,22	337,51	0,766
	OUTONO	3.754,70	977,21	1,817
	INVERNO	6.113,74	1.373,08	2,598
	PRIMAVERA	7.169,73	2.301,57	4,749
50 %	VERÃO	1.630,82	317,12	0,569
	OUTONO	3.101,69	780,22	1,474
	INVERNO	4.225,53	1.004,66	1,801
	PRIMAVERA	6.746,71	2.310,54	4,898
70 %	VERÃO	1.572,92	310,81	0,738
	OUTONO	3.289,85	811,57	1,940
	INVERNO	4.520,54	1.054,74	2,037
	PRIMAVERA	6.608,50	2.218,65	5,375

4.3.4.1. Comprimento Total das Raízes

A análise estatística dos dados coletados nas mensurações do comprimento total das raízes por planta de erva-mate no decorrer das quatro estações climáticas, foi desenvolvida através do Teste de Duncan.

Comprovou-se a relevância da luminosidade ambiental no desenvolvimento do sistema radicular que está diretamente proporcional à amplitude da radiação solar, conforme demonstrado na TABELA 21. Os parâmetros de primavera caracterizam essa situação, em especial o tratamento com 0% de sombreamento, tendo em vista o esforço em garantir o fornecimento de água e nutrientes para a planta de erva-mate, mediante um maior incremento radicular e menor crescimento da parte aérea da planta.

4.3.4.2. Área Total da Superfície Radicular

Pela análise de variância da área radicular das plantas de erva-mate, a ANOVA indicou que não houve diferenças estatisticamente significativas (Teste F com 95% de significância) nas medições para os tipos de material de sombreamento (fator B) e para a correlação AB, mas havendo relevância estatística para as estações climáticas.

Quando se efetuou a análise de variância da estação climática (fator A) pelo Teste F com 95% de significância (TABELA 22), verificaram-se detalhes das diferenças estatisticamente significativas entre as quatro estações, nas quais outono e inverno são equivalentes mas com dados diferentes da estação da primavera perante a de verão.

TABELA 22 – Média da área radicular por planta (material úmido) para as diferentes estações climáticas.

TRATAMENTO	ÁREA RADICULAR (mm ²)	VARIÇÃO (%)
Primavera	2400,09	a
Inverno	1228,16	b
Outono	896,44	b
Verão	315,13	c

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Duncan a 5 % de probabilidade.

A análise estatística dos dados coletados nas mensurações radiculares das plantas de erva-mate conforme TABELA 34 (ANEXO), no decorrer das quatro estações climáticas, foi desenvolvida através do Teste de Duncan.

4.3.4.3. Espessura Média das Raízes

Pela análise de variância do diâmetro radicular das plantas de erva-mate, a ANOVA indicou que não houve diferenças estatisticamente significativas (Teste F com 95% de significância) nas medições para os tipos de material de sombreamento (B) e para a correlação AB, mas com relevância estatística para as estações climáticas.

Quando se efetuou a análise de variância do fator estação climática pelo Teste F com 99% de significância (TABELA 23), verificaram-se detalhes das diferenças estatisticamente significativas entre as quatro estações, especialmente quando comparadas com as de verão.

TABELA 23 – Variação da espessura radicular média por planta de erva-mate (material úmido) no decorrer das diferentes estações climáticas.

ESTAÇÃO	ESPESSURA RADICULAR (mm)		VARIAÇÃO (%)
Primavera	5,02	a	727,54
Inverno	2,33	b	337,68
Outono	1,80	b	260,87
Verão	0,69	c	100,00

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A análise estatística dos dados coletados nas mensurações dos diâmetros radiculares nas quatro estações climáticas, conforme indicado pela TABELA 35 (ANEXO), através do Teste de Duncan.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa desenvolvida com plantas de erva-mate em seus estágio inicial de manejo silvicultural permitiu atingir aos objetivos propostos para estabelecer um grau de sombreamento mais apropriado ao seu cultivo em propriedades rurais.

.Os resultados do comportamento das plantas de erva-mate sob tratamentos com sombreamento confirmaram suas características de plantas com hábito umbrófilo. Assim, o sombreamento das plantas constitui em uma técnica silvicultural recomendável.

Os aspectos relevantes de condição ambiental mais adequada à erva-mate foram verificados nos sombreamentos a 50% e 70%.

As condições de maior sombreamento ambiental favoreceram ao incremento de peso da massa úmida e peso da massa seca da parte aérea.

O peso da massa seca das folhas de erva-mate teve um incremento muito superior ao peso seco do sistema radicular, aliado a maior produtividade em condições de sombreamento.

Embora não tenham ocorrido diferenças estatisticamente significativas quanto à área foliar entre os diversos tratamentos de sombreamento, observou-se uma tendência para a redução da área foliar à medida que ocorre um incremento de luminosidade ambiental.

Apesar de não haver diferença significativa para o peso foliar e espessura total das folhas, observou-se uma tendência do incremento destas variáveis a medida que aumenta o grau de sombreamento da erva-mate.

A adição de nitrogênio em tratamentos a pleno sol, nas condições de solo com boa fertilidade natural, nas quantidades testadas e aplicadas em dose única, demonstrou ser

ineficiente e causadora da mortalidade de plantas. Possivelmente a associação de dois fatores - excesso de nitrogênio em 2 tratamentos com alta luminosidade – seja a condição estressante mais maléfica para o desenvolvimento da planta.

Nas condições de 70% de sombreamento, a ação do nitrogênio parece ter influenciado no aumento do peso da massa foliar e na diminuição da área foliar das plantas de erva-mate.

No tratamento sem adição de nitrogênio, houve uma tendência para maior espessura foliar nas plantas sob maiores intensidades luminosas.

6. RECOMENDAÇÕES

Considerando-se que foram utilizadas plantas juvenis de erva-mate na pesquisa voltada à análise do efeito de diferentes intensidades luminosas, propõe-se a continuidade do experimento para estabelecer parâmetros complementares sobre os efeitos das condições de sombreamento ambiental.

Além disso, recomenda-se verificar primordialmente:

- Análise do comportamento da queda das folhas de erva-mate no decorrer dos meses, de acordo com o grau de luminosidade ambiental e idade da planta.
- Avaliação do comportamento hídrico no substrato-solo das plantas e seu efeito na produtividade da biomassa foliar por grau de sombreamento adotado.
- Variação da composição química de macro e micronutrientes das folhas de erva-mate, por idade das plantas, perante diferentes graus de luminosidade ambiental.
- Níveis de produção e produtividade da biomassa foliar de erva-mate em diversos níveis de luminosidade ambiental empregando plantas com morfotipos, variedades e procedências diferenciadas.
- Estudos analíticos e qualitativos sobre os componentes físico-químicos da erva-mate visando usos alternativos especializados – produtos farmacêuticos, bebidas especiais, produtos de higiene – frente os diversos morfotipos e variedades / procedências existentes.
- Definir padrões sensoriais para os diversos materiais genéticos de erva-mate – morfotipos, variedades e procedências - de acordo com o nível de sombreamento ambiental visando obtenção de bebidas demandadas pelo mercado consumidor.

Por outro lado, visando estabelecer parâmetros para a Assistência Técnica e aos produtores de erva-mate, preconiza-se:

- Manter como procedimento sistemático, antes do plantio de mudas de erva-mate, a efetivação de análise química e física de solos, para avaliar a real fertilidade do solo da área destinada ao novo erval.
- Viabilizar o sombreamento para os ervais, implantados ou em fase de implantação, para níveis entre 50% e 70% de sombra.
- Estabelecer o sombreamento nos ervais mediante o plantio de espécies florestais, preferencialmente com árvores de copada ampla e manejo com sistemática simples da desrama. Para tanto, utilizar o Pinheiro do Paraná *Araucaria angustifolia*, uva-do-japão *Hovenia dulcis*, cedro *Cedrela fissilis*, açoita –cavalo *Luehea divaricata*, entre outras.
- Fomentar a introdução dos SAFs com erva-mate, associados a técnicas silviculturais de manejo do sombreamento ambiental, particularmente nas propriedades integrantes da Agricultura Familiar.
- De conformidade com o resultado da análise química do solo da área do erval, incluir uma adubação química composta por 160 gramas de superfosfato simples e 30 gramas de cloreto de potássio. A adição de bórax e sulfato de zinco ficará condicionada à recomendação específica, de acordo com o tipo de erval.
- Em solos com média ou baixa fertilidade, priorizar o uso de adubo orgânico no plantio das mudas de erva-mate (colocação na cova), bem como, nos ervais já implantados (colocação na superfície do solo, em “mulching” ao redor da planta).
- No solo retirado da cova de plantio, adicionar e misturar pelo menos uma quantidade aproximada de um quilo de esterco orgânico (bovino, suíno ou ovino), devidamente curtido previamente, visando incremento inicial diferenciado das mudas de erva-mate.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACIESP (Academia de Ciências do Estado de São Paulo). **Glossário de Ecologia**. 2. ed. São Paulo: ACIESP, 1997, 352 p.
- APHALO, P.J.; BALLARÉ, C.L.; SCOPEL, A.L. Plant-plant signaling, the shade avoidance response and competition. **Journal of Experimental Botany**: 1999, v. 50, n. 340, p. 1629-1634.
- ALDRICH, S.R. Plant Analysis – Problems and Opportunities. IN: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. Soil Testing and Plant Analysis. Madison: **Soil Science Society of America**, 1973. Cap. 14, p. 213 - 221.
- ARRANDA, D. **Área de Distribución Natural de la Yerba Mate**. Cerro Azul, Argentina: INTA Estación Experimental Agropecuária, 1986. 17p. (Publicación Miscelânea, 14).
- BAGGIO, A.J. Alternativas Agroflorestais para Recuperação de Solos Degradados na Região Sul do País. IN: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. **Anais ...** Colombo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1992. v. 1. p. 126-131.
- BALLARÉ, C.L.; SCOPEL, A.L.; SÁNCHEZ, R.A. Farred Radiation Reflected from Adjacent Leaves : an Early Signal of Competition in Plant Canopies. **Science**: 1990, n. 247, p. 329-332.
- BLACKMAN, G.E. & WILSON, G.L. Physiological and Ecological Studies in the Analysis of Plants Environment. VII. Analysis of the Differential Effects of Light Intensity on the Net Assimilation Rate, Leaf-Area Ratio and Relative Growth Rate of Different Species. **Annals of Botany**: 1951, n. 15, p. 373-408.
- BIRD, P.R.; BICKNELL, D.; BULMAN, P.A.; BURKE, S.J.A.; LEYS, J.F.; PARKER, J.N.; VAN DER SOMMEN, F.J.; VOLLER, P. The Role of Shelter in Australia for Protecting Soils, Plants and Livestocks. **Agroforestry Systems**, 20: 59-86. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1992.
- BOEGER, M.R.T. & WISNIEWSKI, C. Estrutura e Teores de Nutrientes Foliares de Seis Espécies Arbóreas, ao Longo de um Gradiente Sucessional de Planície Litorânea do Estado do Paraná, Brasil. **Ilheringia**. 2002, v. 57, n. 2, p. 243-262.
- BOEGER, M.R.T.; ESPINDOLA, JR.A.; CAVICHIOLO, L.E.; MAZUCHOWSKI, J.Z.; MACCARI, JR.A. Efeito das Diferentes Condições de Luz e Concentrações de Nitrogênio sobre a Estrutura Foliar de *Ilex paraguariensis* St. Hil. IN: 3º CONGRESSO SUL AMERICANO DE ERVA-MATE, 2003, 4ª REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE. Chapecó. **Anais ...** Chapecó: EPAGRI, 2003
- BONHOMME, R. The Solar Radiation: Characterization and Distribution in the Canopy. IN: VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; SINIQUET, H. **Crop Structure and Light Microclimate**: Characterization and Application. Paris: INRA Editions. 1993. p. 17-28.
- BRAUN-BLANQUET, J. **Fitosociologia – Bases para el Estudio de las Comunidades Vegetales**. Madrid, Espana, 1979. Blume Ediciones. P. 199-486.
- BRENNER, A.J. Microclimatic Modification in Agroforestry. IN: C.K. Ong e H. Huxley (ed.), **Tree – Crop Interactions. A Physiological Approach**. p. 159-187. CAB INTERNATIONAL, Wallingford, UK, 1996.
- BUGARDT, A.C. **Desenvolvimento de uma Bebida Utilizando Extrato de Erva-Mate Verde (*Ilex paraguariensis* St. Hil)**. Dissertação do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia Química. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.124 p.

- CAMPOS, M.A.A. **Balanço da Biomassa e Nutrientes em Povoamentos de *Ilex paraguariensis* St. Hil. – Avaliação na Safra e na Safrinha.** (Dissertação de Mestrado). UFPR – Setor de Ciências Agrárias. Curitiba, 1991. 107 p.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies Florestais Brasileiras: Recomendações Silviculturais, Potencialidades e Uso da Madeira.** Colombo: EMBRAPA – CNPF; Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 639 p.
- CASAL, J.J.; SANCHEZ, R.A.; GIBSON, D. The Significance of Changes in the Red/Far Red Ratio, Associated with Either Neighbour Plants or Twilight, for Tillering in *Lolium multiflorum* Lam. **New Phytologist**: 1990, n. 116, p. 568-572.
- CAVICHIOLO, L. E.; ESPINDOLA JUNIOR, A.; BOEGER, M.R.T.; EVANGELISTA, P.H.L. Caracterização Morfológica de *Rumohra adiantiformis* (G. Forst) Ching (Dryopteridaceae) de Hábitos Epífito e Terrestre Ocorrentes na Floresta Ombrófila Densa Montana e de Terras Baixas, no Estado do Paraná. **VII Encontro Regional de Botânicos do Paraná e Santa Catarina.** Ponta Grossa, Paraná. 2003.
- COMISSÃO DE SEMENTES E MUDAS DO ESTADO DO PARANÁ – Sub-Comissão de Sementes e Mudas Florestais: CESP – COMFLOR. Convênio Ministério da Agricultura-Secretaria de Estado da Agricultura do Paraná. **Normas de Produção de Sementes e Mudas Fiscalizadas de Essências Florestais.** Curitiba, 1987. 91 p.
- COELHO, G.C.; RACHWAL, M.; SCHNORRENBURGER, E.; SCHENKEL, E.P. 2000. Efeitos do Sombreamento sobre a Sobrevivência, Morfologia e Química da Erva-Mate. IN: 2º CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE, 3ª REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE. **Anais ...** Centro de Convenções de Encantado, Rio Grande do Sul, 2000, p: 396-399.
- CONAMATE. **Diagnóstico do Setor Ervateiro Brasileiro.** Curitiba, 1997. 18 p.
- DA CROCE, D.M. Características Físico-Químicas da Erva-Mate no Estado de Santa Catarina. IN: 2º CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE e 3ª REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE. **Anais ...** Encantado. UFRGS / Helga Winge (Coordenadora). Porto Alegre, 2000. 470 p. (p. 77-79).
- DA CROCE, D.M. & FLOSS, P.A. **Cultura da Erva-Mate no Estado de Santa Catarina.** EPAGRI. Boletim Técnico nº 100. Florianópolis, 1999. 81 p.
- DA SILVA, V.P. **Modificações Microclimáticas em Sistema Silvipastoril com *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. BR na Região Noroeste do Paraná.** Dissertação de Mestrado em Agroecossistemas: Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 1998. 128 p.
- DA SILVA, V.P.; MAZUCHOWSKI, J.Z. **Sistemas Silvipastoris – Paradigma dos Pecuaristas para Agregação de Renda e Qualidade.** EMATER - Paraná. Curitiba: 1999. 52 p. il.
- DANTAS, M. Aspectos Ambientais dos Sistemas Agroflorestais. IN: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1, 1994, Porto Velho. **Anais,** Colombo - PR: EMBRAPA / CNPFlorestas: 1994, v. 1, p. 433-453.
- EMATER PARANÁ. **Realidade Ervateira do Paraná.** Curitiba, 2000. 25 p.
- EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412 p. il.
- ENGEL, V.L. **Influência do Sombreamento sobre o Crescimento de Mudas de Essências Nativas, Concentração de Clorofila nas Folhas e Aspectos de Anatomia.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP: Piracicaba, 1989, 202 p.
- ESPÍNDOLA JUNIOR, A. **Efeito das Diferentes Condições de Luz e Concentrações de Nitrogênio sobre a Estrutura Foliar de *Ilex paraguariensis* St. Hil. (Aquifoliaceae).** Monografia (em Botânica). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 35 p.
- FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. Influência do Sombreamento nas Características Fisiológicas Envolvidas no Crescimento de Espécies de Coffea. IN: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina, **Anais ...** Londrina: IAPAR, 1994. p. 289-290.

- FAO. **Sistemas Agroflorestales en America Latina y el Caribe**. Santiago, 1984. 114 p.
- FELFILI, J.M.; HILGBERT, L.F.; FRANCO, A.C.; SOUZA-SILVA, J.C.; RESENDE, A.V.; NOGUEIRA, M.V.P. Comportamento de Plântulas de *Scherolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.) Benth. sob Diferentes Níveis de Sombreamento em Viveiro. **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo, 1999, v. 22, n. 2 (suplemento). p. 297-301.
- FERREIRA, A.G.; ALMEIDA, J.S.; CUNHA, G.G. Fisiologia de *Ilex paraguariensis* St. Hil. com Ênfase na Embriologia Experimental. IN: REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 1, 1994, Porto Alegre. **Anais ...**, Porto Alegre: FAPERGS, 1994. p. 161.
- FERREIRA FILHO, J. C. **Cultura e Preparo de Erva - Mate**. 2ª Edição. Serviço de Informação Agrícola, Ministério da Agricultura. Rio de Janeiro, 1957. 64 p.
- FERREIRA, M.G.M.; CÂNDIDO, J.F.; CANO, M.A.O.; CONDÉ, A.R. **Efeito do Sombreamento na Produção de Mudanças de Quatro Espécies Florestais Nativas**. Viçosa, Minas Gerais. *Revista Árvore*: 2000, n. 1, p. 121-134.
- FERREIRA, M.G.M. **Efeito do Sombreamento na Produção de Mudanças de Quatro Espécies Florestais Nativas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais. 1977, 42 p.
- FOSSATI, L.C. **Avaliação do Estado Nutricional e da Produtividade de Erva-Mate *Ilex paraguariensis* St. Hil., em Função do Sítio e da Dioicéia**. (Dissertação de Mestrado). UFPR – Setor de Ciências Agrárias. Curitiba, 1997. 113 p.
- GAZIAD, S.; RAKOCEVIC, M.; REISSMANN, C.B. Sulfato de Amônio como Fonte de Nitrogênio na Adubação de Mudanças de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). IN: 3º CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 4ª REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A ERVA-MATE, 2003, Chapecó. **Anais ...** Chapecó: EPAGRI, 2003.
- GAL, E. **O Efeito das Malhas de Sombreamento sobre Estudos de Micro-Clima em Estufas**. Polysack do Brasil. São Paulo, 2003. 5 p.
- GALVÃO, F. **Variação Sazonal da Fotossíntese Líquida e Respiração de *Cabrela canjeana* (Vell.) Mart., *Ilex paraguariensis* St. Hil e *Podocarpus lambretii* Kl. em Função da Intensidade Luminosa e Temperatura**. Tese (doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1986.
- GAUTIER, H.; MECH, R.; PRUSINKIEWICH, P.; VARLET-GRANCHER, C. 3D Architectural Modelling of Aerial Photomorphogenesis in White Clover (*Trifolium repens* L.) Using L-Systems. **Annals of Botany**, 2000, n. 85, p. 359-370.
- GIBERTI, G.C. *Ilex* en Sudamérica: Florística, Sistemática y Potencialidades con Relación a un Banco de Germoplasma para la Yerba Mate. IN: 2º CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA - MATE E 3ª REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA - MATE. **Anais...Encantado**. UFRGS/Helga Winge (Coordenadora):Porto Alegre, 470 p. (p.30-32).
- GIJZEN, H. & GOUDRIAAN, J. A Flexible and Explanatory Model of Light Distribution and Photosynthesis in Row Crops. **Agricultural and Forest Meteorology**, 48: 1-20. 1989.
- GLIESSMANN, S.R. **Agroecologia: Processos Ecológicos em Agricultura Sustentável**. Porto Alegre: EDURGS / UFRGS, 2000. 653 p.
- GREGORY, N.G. The Role of Shelterbelts in Protecting Livestock: a Review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, 1995. Vol. 38: 423-450.
- HAM, J.M. & KLUITENBERG, G.J. Positional Variation in the Soil Energy Balance Beneath a Row-Crop Canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, 63: 72-92. 1993.
- HOLMES, M.G.; SMITH, H. The Function of Phytochrome in Plants Growing in the Natural Environment. **Nature**, n. 254, p. 775-778, 1975.
- ICRAF. **Annual Report**. International Centre for Research in Agroforestry. Nairobi, Kenya. 1977, p.133-137.
- KASPARY, R. **Efeito de Diferentes Graus de Sombreamento no Desenvolvimento de Plantas Jovens de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Porto Alegre, 1985. 54 p.
- KISHI, S.; KOBAYAMA, M.; CUNHA, J.S.F. Efeitos de Condições Hídricas do Solo sobre o Crescimento em Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). IN: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO (23: 2001: Londrina). Londrina: EMBRAPA - Soja, **Anais**, 2001. CDrom.
- KLAR, A.E. **A Água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. 408 p.
- KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALTARDY, S.G. **The Physiological Ecology of Woody Plants**. San Diego. Acad. Press. 1991.
- KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water Relations of Plants and Soils**. Academic Press, Inc. California, 1995.
- KRAMER, P.J. & KOZLOWSKI, T.T. **Fisiologia das Árvores**. Fundação Calouste Goulbenkian. Lisboa, 1980. 760 p.
- KRICUN, P. **Yerba Mate**. Misiones: INTA – Estación Experimental Agropecuaria, 1983.16p.
- KUDREV, T.G. **Água: Vida das Plantas**. São Paulo: Ícone, 1994. 178p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Barcelona: Omega, 2000, 531 p.
- LAVENDER, D.P. Plant Physiology and Nursery Environment: Interactions Affecting Seedling Growth. IN: DURYEA, M.L.; THOMAS, D.L. **Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings**. Corvallis: Oregon State University, 1984: p. 133-141.
- LAWLOR, D.W. The Effects of Water Deficit on Photosynthesis. In: SMIRNOFF, N. (ed.) **Environment and Plant Metabolism**. Oxford: BIOS Scientific, 1995. p.129-160.
- LEE, D.W.; OBERBAUER, S.F.; KRISHNAPILAY, B.; MANSOR, M.; MOHAMED, H & YAP, S.K. Effects of Irradiance and Spectral Quality on Seedlings Development of Two Southeast Asian Hopea Species. **Oecologia**, 1997, 110 p. (1-9).
- LEITE, C. A. **Manejo em Cultivo Protegido**. Polysack do Brasil. São Paulo, 2003. 9 p.
- LOGAN, K.T. **Growth of Tree Seedlings as Affected by Light Intensity. IV Blakspruce, White Spruce, Balsam Fir and Eastern White Cedar**. Canada, For. Service (Technical Report). 1069
- LOURENÇO, R.S. Adubação em Erva-Mate. IN: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2, 1997, Curitiba. **Anais ... Colombo**. EMBRAPA-CNPq, 1997. P.299-315. (Série Documentos nº 33).
- LOURENÇO, R.S.; CURCIO, G.R.; RACHWAL, M.F.G.; MEDRADO, M.J.S. Avaliação de Níveis de Nitrogênio sobre a Produção de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Fernandes Pinheiro - PR, em Latossolo vermelho-escuro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 34, p. 75-98, 1997.
- MACCARI JUNIOR, A.; MAZUCHOWSKI, J.Z. **Produtos Alternativos e Desenvolvimento da Tecnologia Industrial na Cadeia Produtiva da Erva-Mate**. Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva - Mate / MCT / CNPq / Projeto PADCT Erva-Mate. Curitiba, 2000. 176 p.
- MAGALHÃES, J.R.; FERNANDES, M.S. Absorção e Metabolismo de Nitrogênio sob Condições de Estresse. **I Simpósio Brasileiro sobre Nitrogênio em Plantas**. Itaguaí, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1993, p. 249-267.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral das Plantas**. Editora Ceres. São Paulo, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A de. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas – Princípios e Aplicações**. POTAFOS. Piracicaba, 1989. 201 p.
- MARQUES FILHO, A. O. Regime de Radiação Solar e Características da Vegetação – Modelos de Inversão. **Acta Amazônica**, 1997. v. 27, n. 2, p. 119-134.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Academic Press. London, 1986. 647 p.
- MATIELLO, J.B.; ALMEIDA, S.R.; FERREIRA, R.A. Sistemas de Combinação Café com Seringueira, no Sul de Minas Gerais. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16, 1990, Espírito Santo do Pinhal (SP), **Trabalhos Apresentados ...** Espírito Santo do Pinhal, 1990. p. 112 - 114.
- MAZUCHOWSKI, J.Z. **Incorporação e Exportação de Biomassa e de Nutrientes pela Erva-Mate**. UFPR - EMATER Paraná. Curitiba, 2001. 28p.

- MAZUCHOWSKI, J.Z. **Avaliação dos Produtos Comerciais de Erva-Mate pelos Mercadistas Vinculados à Associação Paranaense de Supermercados - APRAS**. Curitiba: EMATER-Paraná, 1997. 40 p.
- MAZUCHOWSKI, J.Z. **Princípios Metodológicos para Geração e Difusão de Tecnologia Florestal**. Convênio FAO – Paraná - França. Projeto Bracatinga. EMATER-Paraná. Curitiba, 1989. 68 p.
- MAZUCHOWSKI, J.Z. **A Cultura da Erva-Mate**. Técnicas Florestais nº 1. EMATER-Paraná. Curitiba, 1989 e 1991. 40 p. il.
- MAZUCHOWSKI, J.Z. **Manual da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill)**. Curitiba: EMATER-Paraná, 1991. 104p.
- MAZUCHOWSKI, J.Z.; CROCE, D.M.; WINGE, H. **Diagnóstico e Perspectivas da Erva-Mate no Brasil**. Comissão Nacional da Erva-Mate. Chapecó, 1996. 28 p.
- MAZUCHOWSKI, J.Z.; RUCKER, N.G.A. **Diagnóstico e Alternativas para a Erva-Mate *Ilex paraguariensis***. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Curitiba, 1993. 141 p.
- MAZUCHOWSKI, J.Z.; RUCKER, N.G.A. **Prospecção Tecnológica da Cadeia Produtiva da Erva - Mate**. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Curitiba, 1996. 125 p.
- MAZUCHOWSKI, J. Z.; RUCKER, N.G.A. **Prospecção Tecnológica da Cadeia Produtiva da Erva-Mate - Documento Executivo**. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Curitiba, 1997. 27 p.
- MEDRADO, M.J.S.; LOURENÇO, R.S.; RODIGHIERI, H.R.; DEDECEK, R.A.; PHILIPOSKY, J.F.; CORREA, G. **Implantação de Ervais**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000, 26 p. (Circular Técnica n. 41)
- MERCOMATE. **Economia Ervateira no MERCOSUL**. Comitê de Cooperação Técnica. Agência Brasileira de Cooperação do Ministério das Relações Exteriores. Brasília, 1993. 10 p.
- MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Critérios para Classificação das Indústrias de Alimentos**. Brasília. 1993.
- MIRANDA, E.M.; PEREIRA, R.C.A.; BERGO, C.L. Comportamento de Seis Linhagens de Café (*Coffea arabica* L.) em Condições de Sombreamento e Pleno Sol no Estado do Acre, Brasil. UFLA. **Ciência e Agrotecnologia**: Lavras, 1999, v. 23, n. 1, p. 62-69.
- MONTEITH, J.L., ONG, C.K. e CORLETT, J.E. Microclimatic Interactions in Agroforestry Systems. **Agroforestry Systems**, 45: 31-44. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1991.
- NAKAZONO, E.M.; COSTA, M.C. da; FUTATSUGI, K.; PAULILO, M.T.S. **Crescimento Inicial de *Euterpe edulis* Mart. em Diferentes Regimes de Luz**. Revista Brasileira de Botânica. São Paulo: 2001, v. 24, n. 2, p. 173-179.
- OLIVEIRA, Y.M.M. & ROTTA, E. Área de Distribuição Natural de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill). IN: **X SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS - SILVICULTURA DA ERVA-MATE**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p.17-36.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.
- ONG, C.K., CORLETT, J.E., SINGH, R.P. e BLACK, C.R. Above and below ground interactions in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, 45: 45-57. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1991.
- PAIVA, L.C.; GUIMARÃES, R.J.; SOUZA, C.A.S. Influência de Diferentes Níveis de Sombreamento sobre o Crescimento de Muda de Cafeeiro *Coffea arabica* L. UFLA. **Ciência e Agrotecnologia**: Lavras, 2003, v. 27, n. 1, p. 134-140.
- PANDOLFO, C.M.; FLOSS, P.A. e DA CROCE, D.M. 2000. Resposta da Erva-Mate a Doses de Nitrogênio, Fósforo, Potássio e Esterco de Aves, em um Latossolo Roxo distrófico. IN: 2º CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE, 3ª REUNIÃO TÉCNICA DA

- ERVA-MATE. **Anais ...** Centro de Convenções Encantado: Rio Grande do Sul, Brasil. 19 a 23 de novembro, p: 20-23.
- PAULA, S.R. **Micropropagação de Erva - Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) e Comparação das Folhas In Vitro com as Originadas em Casa de Vegetação.** (Dissertação de Mestrado em Botânica). UFPR. Curitiba, 1992.
- PENMAN, H. L. **Evaporation: an Introductory Survey.** Netherlands J. Agric. Sci., Amsterdam, v.4, p.9-30, 1956.
- PEZZOPANE, P.B.G.; ORTOLANI, A.A. **Radiação Solar Global em Cultivo Consorciado Café-Coqueiro Anão Verde.** IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12º, 2001, Fortaleza. **Anais ...**, Vol. II, Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia / FUNCEME, 2001. 938 p. (p. 795-796).
- PINTRO, J.C.; MATUMOTO-PINTRO, P.T.; SCHWAN-ESTRADA, K.R.F. Crescimento e Desenvolvimento de Mudanças de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) Cultivadas em Solo sob Diferentes Níveis de Fertilidade. **Acta Scientiarum**, Maringá, 1998, v. 20, n. 3, p. 285-289.
- POGGIANI, F.; STAPE, J.L., GONÇALVES, J.L.M. **Indicadores de Sustentabilidade das Plantações Florestais.** ESALQ / USP. São Paulo: IPEF, 1998, v. 12, n. 31, p.33-44 (Série Técnica).
- POLYSACK PLASTIC INDUSTRIES. São Paulo.2004. site: www.polysack.com
- POPMA, J. & BONGERS, F. Acclimation of Seedlings of Three Mexican Tropical Rain Forest Tree Species to a Change in Light Availability. **Journal of Tropical Ecology.** 1991, v. 7 , p. 85-97.
- RACHWAL, M.F.G.; CURCIO, G.R.; DEDECEK, R.A.; NIETSCHKE, K.; RADOMSKI, R.I. Influência da Luminosidade sobre a Produtividade da Erva-Mate aos Quatro Anos e Quatro Meses de Idade sobre Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em São Mateus do Sul, PR. IN: 1º CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 2º REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A ERVA-MATE. **Anais...** 1998. Centro de Convenções Curitiba, Paraná, Brasil. **Resumos ...**, Curitiba, 1998. p. 445.
- RACHWAL, M.F.G.; CURCIO, G.R.; DEDECEK, R.A.; NIETSCHKE, K.; RADOMSKI, R.I. Influência da Luminosidade sobre os Teores de Macronutrientes e Tanino em Folhas de Erva-Mate. IN: 2º CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 3º REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A ERVA-MATE. **Anais ...** 2000. Centro de Convenções Encantado: Rio Grande do Sul, Brasil. 19 a 23 de novembro, p: 417-420.
- RAKOCEVIC, M. Photomorphogenetic Responses in Plant Species of Upland Grasslands in Serbia. **Review of Research Work at the Faculty of Agriculture**, 1997, v. 42, n. 1, p. 11-125.
- RAKOCEVIC, M; GRUBISIC, D.; VARLET-GRANCHER, C.; KONJEVIC, R. Morphogenetic Responses of Two-Rosette Grassland's Species (*Achillea millefolium* L. And *Rumex acetosa* L.). IN: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 18, 1997, Winnipeg and Saskatoon, Canada. **Proceedings.** 1997, v. 3/7, p. 13-14.
- RAKOCEVIC, M; MEDRADO, M. J. S; TAKAKI, M. Aspectos Fotomorfogenéticos de Plantas Jovens de Erva-Mate, 2003. IN: 3º CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE, 3º REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE. **Anais ...** Centro de Convenções Chapecó, Santa Catarina, Brasil. 16 a 19 de novembro.
- REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W.; ROCHA, H.O.; HILDEBRAND, E.E. Avaliação das Exportações de Macronutrientes pela Exploração da Erva-Mate. IN: **X SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS - SILVICULTURA DA ERVA - MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hill)**, Curitiba: EMBRAPA - CNPF, 1985. p. 128-139.
- REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W.; ROCHA, H.O.; HILDEBRAND, E.E. Bioelementos em Folhas e Hastes de Erva-Mate sobre Cambissolos na Região de Mandirituba – PR. **Revista Florestal.** 1983, v. 14. n. 2, p. 49 – 54.

- REISSMANN, C.B. & PREVEDELO, B. M.S. Influência da Calagem no Crescimento e na Composição Química Foliar da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). IN: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS: CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (1992: São Paulo). **Anais ...** Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v. 4, n. único, parte 4, 1992. p. 625 - 629.
- REISSMANN, C.B.; PREVEDELLO, B.M.; QUADROS, R.M.B.; RADOMSKI, M.I. **Production and Foliar N, P, K, Ca and Mg Levels in Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) Related to Increasing Base Saturation Levels.** Curitiba. Arq. Biol. Tecnol. 1997, n. 40 (1), p. 241-249.
- REITZ, R; EDWIN, G. **Aquifoliaceae.** Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1967. 47p.
- SACK, L. & GRUBB, P.J. The Combined Impact of Deep Shade and Drought on the Growth and Biomass Allocation of Shade Tolerant Woody Seedlings. **Oecologia**, 2002, n. 113, p. 175-185.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology.** Woodsworth Pub. Co., Belmont, California, 1992. 682 p.
- SANTIAGO, E.J.A.; PINTO, J.E.B.P.; CASTRO, E.M.; LAMEIRA, O.A.; CONCEIÇÃO, H.E.O.; GAVILANES, M.L. Aspectos da Anatomia Foliar da Pimenta Longa (*Piper spidinervium* C.DC.) sob Diferentes Condições de Luminosidade. **Ciências Agrotécnicas**. 2001, v. 25, p. 1035-1042.
- SANTOS, H.J. dos. A Erva-Mate em Mato Grosso do Sul. IN: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS - SILVICULTURA DA ERVA-MATE. **Anais**, 10. EMBRAPA – CNPF, Curitiba. 1985. p. 13-16.
- SEEVERS, G.P. & SMITH, H. The Reflectance Properties of Plant Internodes Modify Elongation Responses to Lateral Far-Red Radiation. **Plant, Cell and Environment**, 1998, n. 20, p. 1372-1380.
- SOSA, D.A. **Fertilización en el Cultivo de la Yerba Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil).** IN: 3º Curso de Capacitación en Producción de la Yerba Mate – Resúmenes. Misiones, Argentina. Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul: 1997, p. 105-107.
- STUEFER, J.S. & HUBER, H. Differential Effects of Light Quantity and Spectral Light Quality on Growth, Morphology and Development of Two Stoloniferous *Potentilla* Species. **Oecologia**. 1998, n. 117, p. 1-8
- THOMPSON, W.A.; HUANG, L.K.; KRIEDEMANN, P.E. Photosynthetic Response to Light And Nutrients in Sun-Tolerant and shade Tolerant Rainforest Trees. II Leaf Gas exchange and Component processes of Photosynthesis. **Australian Journal of Plant Physiology**: 1992, n. 19, p. 19-42.
- VALDUGA, E. **Caracterização Química e Anatômica da Folha de *Ilex paraguariensis* St. Hil. e de Algumas Espécies Utilizadas na Adulteração do Mate.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Química do Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1995.
- VAN DEN DRIESCHE, R. Nutrient Storage, Retranslocation and Relation Ship of Stress to Nutrition. IN: Bowen (ed.). **Nutrition of Plantation Forest.** Londres: Academic Press., 1984.
- VARLET-GRANCHER, C.; GAUTIER, H. Plant Morphogenetic Responses to Light Quality and Consequences for Intercropping. IN: SINOQUET, H.; CRUZ, P. **Ecophysiology of Tropical Intercropping.** Paris: INRA Editions. 1995. p. 231-256.
- VERONESE, A. **Contribuição ao Estudo do Mate.** Imprensa Nacional. Rio de Janeiro, 1944. 213 p.
- VIEIRA, A.R.R.; SUERTEGARAY, C.E.O.; HELDWEIN, A.B.; MARASCHIN, M.; DA SILVA, A.L. Influência do Microclima de um Sistema Agroflorestal na Cultura da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Santa Maria: **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. 2003, v. 11, n. 1, p. 91 - 97.

- VOLTAN, R.B.Q.; FAL, J.I.; CARELLI, M.L.C. Variação da Anatomia Foliar de Cafeeiros Submetidos a Diferentes Intensidades Luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**: 1992, n. 4 (2), p. 99 - 105.
- WISNIEWSKI, C.; JINZENJI, F.; CLARO, A.M.; SOUZA, R.M.DE. Exportação de Biomassa e Macronutrientes com a Primeira Poda de Formação da Erva-Mate na Região de Pinhais-PR. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, p. 179-186, 1996.
- ZAMPIER, A.C. **Avaliação dos níveis de nutrientes, cafeína e taninos em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) após adubação e sua relação com a produtividade.** Dissertação (Mestrado). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.103 p.

ANEXO – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS

TABELA 24 – Análise de variância dos dados sobre mortalidade das plantas de erva-mate em função de diferentes condições de sombreamento e da adição de adubo nitrogenado, em duas estações climáticas.

INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
A	3	253.12	84.37	21.60 **	3.49	5.95
C	1	9.37	9.37	2.40 ns	4.75	9.33
AC	3	3.12	1.04	0.27 ns	3.49	5.95
Repet. C	4	15.62	3.91	1.00 ns	3.26	5.41
Erro A	12	46.87	3.91	1.00 ns	2.62	4.01
B	3	1378.12	459.37	117.60 **	2.84	4.31
AB	9	309.37	34.37	8.80 **	2.11	2.89
BC	3	11.46	3.82	0.98 ns	2.84	4.31
ABC	9	26.04	2.89	0.74 ns	2.11	2.89
Erro B	48	187.50	3.91			
TOTAL	95	2240.62	23.59			

C.V. = 6,31 %

Fator A: sombreamento (0%, 30%, 50%, 70%)

Fator B: adubação nitrogenada (ON, 1N, 2N, 3N)

Fator C: estação climática (verão, inverno)

TABELA 25 – Análise de variância dos dados sobre altura média por planta de erva-mate em função das diferentes condições de sombreamento e estações climáticas, sem e com adição de adubação nitrogenada.

INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
A	3	2837.54	945.85	121.23 **	3.49	5.95
C	1	15.04	15.04	1.93 ns	4.75	9.33
AC	3	59.71	19.90	2.55 ns	3.49	5.95
Repet. C	4	199.54	49.89	6.39 *	3.26	5.41
Erro A	12	93.62	7.80	1.00 ns	2.62	4.01
B	3	463.71	154.57	5.52 *	2.84	4.31
AB	9	186.71	20.75	0.74 ns	2.11	2.89
BC	3	69.21	23.07	0.82 ns	2.84	4.31
ABC	9	248.37	27.60	0.99 ns	2.11	2.89
Erro B	48	1343.50	27.99			
TOTAL	95	5516.96	58.07			

C.V. = 38,60 %

Fator A: sombreamento (0%, 30%, 50%, 70%)

Fator B: estação climática (verão, outono, inverno, primavera)

Fator C: adubação nitrogenada (ON, 1N)

TABELA 26 - Análise de variância dos dados sobre peso da biomassa foliar por planta de erva-mate em função das diferentes condições de sombreamento e adubação nitrogenada nas estações climáticas.

INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
Repetições	2	0.27	0.14	0.06 ns	3.32	5.39
Tratamentos	15	167.37	11.16	5.17 **	2.01	2.70
A	3	14.97	4.99	2.31 ns	2.92	4.51
B	3	124.19	41.40	19.18 **	2.92	4.51
AB	9	28.21	3.13	1.45 ns	2.21	3.07
Erro	30	64.73	2.16			
TOTAL	47	232.37	4.95			

C.V. do fator A (grau de sombreamento) = 36,38 %

C.V. do fator B (dose de nitrogênio) = 36,38 %

TABELA 27 - Análise de variância dos dados sobre peso úmido das folhas por planta da erva-mate, em função da adubação nitrogenada e diferentes condições de sombreamento, nas estações climáticas.

INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
Repetições	2	80,48	40,24	0,30	5,14	10,92
A	3	11210,36	3736,79	28,05 **	4,76	9,78
Erro A	6	799,18	133,20			
B	3	358,78	119,59	1,96 ns	3,01	4,71
AB	9	570,33	63,37	1,03 ns	2,30	3,26
Erro B	24	1467,60	61,15			
TOTAL	47	14486,73	308,23			

C.V. do fator A (estações climáticas) = 39,61%

C.V. do fator B (grau de sombreamento) = 26,84%.

TABELA 28 - Análise de variância dos dados sobre peso seco das folhas por planta de erva-mate, em função da adubação nitrogenada e diferentes condições de sombreamento, nas estações climáticas

INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
Repetições	2	3,23	1,62	0,03 ns	5,14	10,92
A	3	3045,04	1015,01	19,79 **	4,76	9,78
Erro A	6	307,71	51,29			
B	3	61,46	20,49	0,68 ns	3,01	4,71
AB	9	171,07	19,01	0,63 ns	2,30	3,26
Erro B	24	725,60	30,23			
TOTAL	47	4314,11	91,79			

C.V. do fator A (estações climáticas) = 39,61%

C.V. do fator B (grau de sombreamento) = 26,84%.

TABELA 29 - Análise de variância dos dados sobre peso úmido de massa radicular por planta de erva-mate submetidas a adubação nitrogenada de verão, em função das estações climáticas e diferentes condições de sombreamento.

INDICADOR	GL	SQ	QM	Fcalc.	F.05	F.01
Repetições	2	80,48	40,24	0,30	5,14	10,92
A	3	11210,36	3736,79	28,05 **	4,76	9,78
Erro A	6	799,18	133,20			
B	3	358,78	119,59	1,96 ns	3,01	4,71
AB	9	570,33	63,37	1,03 ns	2,30	3,26
Erro B	24	1467,60	61,15			
TOTAL	47	14486,73	308,23			

C.V. do fator A (estações) = 43,72 %

C.V. do fator B (grau de sombreamento) = 23,83 %.

TABELA 30 - Análise de variância dos dados sobre peso seco da massa radicular por planta de erva-mate, submetidas a adubação nitrogenada de verão, comparando estações climáticas e diferentes condições de sombreamento.

INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
Repetições	2	80,48	40,24	0,80 ns	5,14	10,92
A	3	11210,36	3736,79	70,40 **	4,76	9,78
Erro A	6	799,18	133,20			
B	3	358,78	119,59	1,67 ns	3,01	4,71
AB	9	570,33	63,37	1,18 ns	2,30	3,26
Erro B	24	1467,60	61,15			
TOTAL	47	14486,73	308,23			

C.V. do fator A (estações) = 43,72%

C.V. do fator B (grau de sombreamento) = 23,83%.

TABELA 31 - Análise de variância dos dados sobre diâmetro médio dos caules por planta de erva-mate, em função da adubação nitrogenada e diferentes condições de sombreamento, comparando as estações climáticas de verão e inverno.

ESTAÇÃO	INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
VERÃO	Repetições	2	0,04	0,02	0,08 ns	5,14	10,92
	A	3	2,11	0,70	2,99 ns	4,76	9,78
	Erro A	6	1,41	0,24			
	B	3	22,31	7,44	37,95 ***	3,01	4,71
	AB	9	4,37	0,48	2,48 ns	2,30	3,26
	Erro B	24	4,70	0,20			
	TOTAL	47	34,94	0,74			
INVERNO	Repetições	2	0,30	0,15	0,86 ns	5,14	10,92
	A	3	3,37	1,12	6,40 *	4,76	9,78
	Erro A	6	1,05	0,18			
	B	3	30,04	10,01	30,68 ***	3,01	4,71
	AB	9	10,08	1,12	3,43 *	2,30	3,26
	Erro B	24	7,83	0,33			
	TOTAL	47	52,67	1,12			

No Verão: C.V. do fator A (tipo de sombreamento) = 22,62 %

C.V. do fator B (dose de nitrogênio) = 20,65 %

No Inverno: C.V. do fator A (tipo de sombreamento) = 16,45 %

C.V. do fator B (dose de nitrogênio) = 22,43 %

TABELA 32 - Análise de variância dos dados sobre crescimento foliar por planta de erva-mate, em função da adubação nitrogenada e diferentes condições de sombreamento, comparando as estações climáticas de verão e inverno.

ESTAÇÃO	INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
VERÃO	Repetições	2	0,05	0,02	0,17 ns	5,14	10,92
	A	3	0,87	0,29	2,17 ns	4,76	9,78
	Erro A	6	0,80	0,14			
	B	3	7,55	2,52	23,12 **	3,01	4,71
	AB	9	1,53	0,17	1,56 ns	2,30	3,26
	Erro B	24	2,61	0,11			
	TOTAL	47	13,41	0,29			
INVERNO	Repetições	2	0,26	0,13	0,53 ns	5,14	10,92
	A	3	0,89	0,30	1,18 ns	4,76	9,78
	Erro A	6	1,50	0,25			
	B	3	14,93	4,98	31,10 **	3,01	4,71
	AB	9	4,34	0,48	3,01 *	2,30	3,26
	Erro B	24	3,84	0,16			
	TOTAL	47	25,76	0,55			

No Verão: C.V. do fator A (tipo de sombreamento) = 21,91 %

C.V. do fator B (dose de nitrogênio) = 19,78 %

No Inverno: C.V. do fator A (tipo de sombreamento) = 26,44 %

C.V. do fator B (dose de nitrogênio) = 21,16 %

TABELA 33 – Análise de variância dos dados sobre área foliar média por planta de erva-mate em função das estações climáticas e diferentes condições de sombreamento.

INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
Repetições	2	444513,82	222256,91	0,78 ns	5,14	10,92
A	3	4060080,17	1353360,06	4,76 *	4,76	9,78
Erro A	6	1706288,80	284381,47			
B	3	591319,62	197106,54	0,75 ns	3,01	4,71
AB	9	1256264,10	139584,90	0,53 ns	2,30	3,26
Erro B	24	6350684,34	264611,85			
TOTAL	47	14409150,86	306577,68			

C.V. do fator A (estações climáticas) = 31,77 %

C.V. do fator B (tipo de sombreamento) = 30,64 %

TABELA 34 – Análise de variância dos dados sobre área foliar por planta de erva-mate, em função das estações climáticas e diferentes condições de sombreamento.

INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
Repetições	2	1995,88	997,94	0,06 ns	5,14	10,92
A	3	440510,04	146836,68	8,37 *	4,76	9,78
Erro A	6	105219,56	17536,59			
B	3	14506,39	4835,46	0,44 ns	3,01	4,71
AB	9	96191,93	10687,99	0,98 ns	2,30	3,26
Erro B	24	261659,67	10902,49			
TOTAL	47	920083,48	19576,24			

C.V. do fator A (estações climáticas) = 33,71 %

C.V. do fator B (tipo de sombreamento) = 26,58 %

TABELA 35 – Análise de variância dos dados sobre espessura média das folhas por planta de erva-mate, em função das estações climáticas e diferentes condições de sombreamento.

INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
Repetições	2	98.97	49.49	2.36 ns	5.14	10.92
A	3	357.30	119.10	5.69 *	4.76	9.78
Erro A	6	125.61	20.93			
B	3	244.52	81.51	2.72 *	3.01	4.71
AB	9	324.13	36.01	1.20 ns	2.30	3.26
Erro B	24	718.59	29.94			
TOTAL	47	1869.13	39.77			

C.V. do fator A (estações climáticas) = 23,83 %

C.V. do fator B (tipo de sombreamento) = 28.50 %

TABELA 36 - Análise de variância dos dados sobre crescimento foliar por planta de erva-mate, em função das estações climáticas e diferentes condições de sombreamento.

ESTAÇÃO	INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
VERÃO	Repetições	2	0,60	0,30	0,17 ns	5,14	10,92
	A	3	12,81	4,27	2,42 ns	4,76	9,78
	Erro A	6	10,56	1,76			
	B	3	191,41	63,80	47,83 ***	3,01	4,71
	AB	9	32,47	3,61	2,70 *	2,30	3,26
	Erro B	24	32,02	1,33			
	TOTAL	47	279,87	5,96			
INVERNO	Repetições	2	0,30	0,15	0,86 ns	5,14	10,92
	A	3	3,37	1,12	6,40 *	4,76	9,78
	Erro A	6	1,05	0,18			
	B	3	30,04	10,01	30,68 ***	3,01	4,71
	AB	9	10,08	1,12	3,43 ***	2,30	3,26
	Erro B	24	7,83	0,33			
	TOTAL	47	52,67	1,12			

No Verão: C.V. do fator A (estações climáticas) = 31,45 %
 C.V. do fator B (tipo de sombreamento) = 27,37 %
 No Inverno: C.V. do fator A (estações climáticas) = 36,53 %
 C.V. do fator B (tipo de sombreamento) = 35,80 %

TABELA 37 - Análise de variância dos dados sobre área total da superfície radicular por planta de erva-mate, em função das quatro estações climáticas e diferentes condições de sombreamento.

INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
Repetições	2	543616,00	271808,00	2,27 ns	5,14	10,92
A	3	27789166,57	9263055,52	77,52 **	4,76	9,78
Erro A	6	716914,88	119485,81			
B	3	692328,12	230776,04	2,12 ns	3,01	4,71
AB	9	490740,99	54526,78	0,50 ns	2,30	3,26
Erro B	24	2610596,78	108774,87			
TOTAL	47	32843363,35	698794,96			

C.V. do fator A (estações climáticas) = 28,56 %
 C.V. do fator B (tipo de sombreamento) = 27,26 %

TABELA 38 - Análise de variância dos dados sobre espessura média das raízes por planta de erva-mate, em função das quatro estações climáticas e de diferentes condições de sombreamento.

INDICADOR	GL	SQ	QM	F calc.	F.05	F.01
Repetições	2	3,80	1,90	2,59 ns	5,14	10,92
A	3	121,92	40,64	55,31 **	4,76	9,78
Erro A	6	4,41	0,73			
B	3	1,32	0,44	0,94 ns	3,01	4,71
AB	9	2,12	0,24	0,50 ns	2,30	3,26
Erro B	24	11,34	0,47			
TOTAL	47	144,91	3,08			

C.V. do fator A (estações climáticas) = 34,89 %

C.V. do fator B (tipo de sombreamento) = 27,98 %